

Bozsóki Attila<sup>1</sup>

## AZ ELEKTRONIKAI HARC GYAKORLATOK KIKÉPZÉSI TAPASZTALATAI, EGYÜTTMŰKÖDÉS LEHETŐSÉGEI A LÉGIERŐ CSAPATAIVAL<sup>2</sup>

*A Magyar Honvédség 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred és jogelődje, a MH 12. Légvédelmi Rakétadandár, elektronikai harc gyakorlatok kiképzési tapasztalatai, együttműködve az MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis, JAS-39 Gripen századával. A NATO Déli-régió Parancsnokság biztosította DA-20 és Learjet zavaró repülőgépek, és a magyar JAS-39 Gripen repülőgépek zavarási képességei, az alkalmazott zavarfajták hatásai, a zavarás elleni védelem lehetőségei. A zavarok hatásainak és az ellenük alkalmazott védelmi eljárások hatékonyságának értékelése. A zavarvédelmi eljárások kiképzési célú alkalmazása lehetőségeinek vizsgálata. Együttműködés elmélyítésének lehetőségei a magyar légvédelmi és repülő alegységek között.*

### **TRAINING EXPERIENCES OF ELECTRONIC WARFARE EXERCISES (NATINADS, NEW FIP), CO-OPERATION POSSIBILITIES WITH AIR FORCE UNITS**

*Training experiences of electronic warfare exercises of HUAF 12<sup>th</sup> Air Defence Missile Regiment 'Arrabona', and its ancestor's HUAF 12<sup>th</sup> Air Defence Missile Brigade, are co-operating with HUAF 59<sup>th</sup> Dezső Szentgyörgyi Air Base, JAS-39 Gripen Squadron. What kind of jamming capabilities of NATO South Region Commandant given DA-20 and Lear Jet jamming air planes, and the Hungarian JAS-39 Gripen air planes have. The effects are caused of used jamming types and the possibilities of electronic protection against them. How evaluate the effectiveness of electronic jamming and of electronic protection. How examine possibilities of electronic protection methods considering of training adaptation. How possible to deepen the cooperation among air defence and flying units.*

## BEVEZETÉS

A Magyar Honvédség NATO csatlakozásunk előtti időszakban jelentős elektronikai harc képességgel rendelkezett. Az 1989-es rendszerváltáskor Magyarország Szombathelyen egy rádió és rádiótechnikai felderítő zászlóaljjal, Békéscsabán egy rövidhullámú rádiózavaró zászlóaljjal, egy szárazföldi és egy honi légvédelmi rádiótechnikai zavaró zászlóaljjal, Győrött, és Pécssett egy-egy ultrarövid hullámú rádiózavaró századdal, Szenkirályszabadján egy helikopteres zavaró századdal, valamint minden magasabbegység közvetlen felderítő zászlóalj egy-egy rádiófelderítő századdal rendelkezett. A szárazföldi haderő rádióelektronikai főnöke vezetési szakaszában rendszeresítve volt egy csapatlégvédelmi zavaróállomás (CsLZ<sup>3</sup>), mely képes volt a KUB<sup>4</sup> és KRUG<sup>5</sup> légvédelmi rakétarendszerek felderítő és rávezető radarjai frekvenciatartományában felderíteni, analizálni és zavarni. Ezeknek a különleges technikai eszközöknek

<sup>1</sup> MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred, bozsoki.attila@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Haig Zsolt okl. mk. ezds., egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Információs Műveletek és Elektronikai Hadviselés Tanszék, haig.zsolt@uni-nke.hu

<sup>3</sup> CsLZ – csapatlégvédelmi zavaróállomás (Rel/69 pp. 473–483.)

<sup>4</sup> KUB – (SA-6, Gainful)

<sup>5</sup> KRUG – (SA-4, Ganef)



speciális javítási és kiszolgálási igényük volt, melyet a Szombathelyen diszlokáló felderítő szakanyag-javító század, és a Békéscsabán levő javító állomány szolgált ki.

Gödöllön helyezkedett el a vezérkar közvetlen rádióelektronikai ellenőrző központ, amely a kor színvonalán álló technikai felszereltséggel bírt. Szakállománya képes volt olyan fejlesztésekben részt venni, amelyek jelentős kihívást jelentettek a mérnökök számára, ugyanakkor nem volt célszerű ipari méretekben, sorozatban készíteni a céleszközöket. A RELEK<sup>6</sup>-hez tartozott az 1980-as évek fejlesztése, a valamikori „Egérfogó” rendszer, melynek gerinchálózata – az Északi Középhegység, a Dunántúli Középhegység és az Alpokalja magaslatai felhasználásával – kiépítésre került. Amennyiben a teljes – észak-déli hálórendszer – kiépítés megvalósult volna, akkor az ország területét lefogó hírközlési ellenőrzés valósulhatott volna meg Magyarországon. Ezekbe a központokba beépített berendezések a kor színvonalát messze meghaladóak voltak.

A fent említett szervezetek technikai felszereltsége alapvetően az 1970-es évek fejlettségi szintjén volt. Az alapvető rádió- és rádiótechnikai felderítő berendezések egy része hazai fejlesztésű volt, a többi eszköz – amely egyébként meghatározó arányt képviselt – a Szovjetunióból került beszerzésre. A vezetési pontok rendszere alapvetően magyar fejlesztés volt, és ugyan minden „gyermekbetegségét” hordozta az új fejlesztéseknek, mégis messze meghaladta az akkori Magyar Néphadsereg színvonalát.

A rendszerváltást követően az új állami, politikai, katonai vezetés nem tartott igényt ezekre a szervezetekre, és azokra a képességekre, amellyel ezek az alakulatok rendelkeztek. Meg kell itt jegyeznem, hogy az első Délszláv válság idején – 1991-1992 – ezek az alakulatok a Magyar Köztársaság déli határán kitelepülve biztosították az alapvető rádió- és rádiótechnikai felderítési adatokat a katonai és politikai vezetés számára. Nagyon rövid időn belül, 1992-ben felszámolták a szombathelyi és békéscsabai alakulatokat, és létrehoztak Kiskunfélegyházán egy elektronikai harc ezredet. Maga az ezred megalakítása nem jelentett volna problémát, az alapvető gondot a hely kiválasztása okozta. Az addig megyeszékhelyeken szolgáló hivatásos és továbbszolgáló állomány nem szándékozott egy „távoli helyőrségbe” költözni. Ezzel párhuzamosan – a jugoszláv háború tapasztalatai alapján – megalakításra kerültek az elektronikai harc századok Győrött, Egerben és Pécsen. Ezek az alegységek 1996 – 1997-ben kerültek felszámolásra, technikai eszközeik Kiskunfélegyházára bevonásra. A közel 120 fős hivatásos és továbbszolgáló állományból egyetlen fő sem vállalta a szolgálatot Kiskunfélegyházán. Az 5. Kiskun Elektronika Harc Ezred 2001. évi felszámolásával gyakorlatilag megszűnt az utolsó elektronikai harc alakulat is. Ezzel az a tudás, amely ezeknél a katonáknál megvolt, szinte teljesen eltűnt a magyar katonai kultúrából.

## ELEKTRONIKAI HARC GYAKORLATOK

NATO<sup>7</sup> csatlakozásunk után azonnal az egyik alapvető követelmény volt, hogy a légvédelmi rendszerünk a lehető leggyorsabban képes legyen csatlakozni a NATINADS<sup>8</sup>-hoz. A vespéri „Sziklában” megkezdődtek az átépítések, modernizálások. Az azonban – belátható módon – kevés, hogy a harcálláspont képes kommunikálni az előjárói szinttel, ugyanerre képes-

<sup>6</sup> RELEK – Rádióelektronikai Ellenőrző Központ

<sup>7</sup> NATO – North Atlantic Treaty Organisation – Észak-atlanti Szövetség Szervezete

<sup>8</sup> NATINADS – NATO Integrated Air Defence System – NATO Integrált (Egységesített) Légvédelmi Rendszer



nek kell lennie az alárendelt csapatszintnek is.<sup>9</sup> Ennek következtében indult meg a megtartásra tervezett KUB rendszer modernizálása, fejlesztése, és NATO kompatibilissé tétele.<sup>10</sup> A kezelő állomány elektronikai harc felkészítésének, gyakoroltatásának feltételei a Magyar Honvédségben – a bevezetőben taglaltak miatt – a 2000-es évek elejére megszűnt. A NATO Déli-régió Parancsnokság, ahova Magyarország tartozott igyekezett megadni a lehető legtöbb segítséget, hogy képesek legyünk megfelelni az elvárásoknak.

## **NATO elektronikai harc gyakorlatok 2000 – 2010 között a 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezrednél és jogelődeinél**

A Magyar Köztársaság NATO csatlakozását követően nagyon rövid időn belül megjelentek a segítők Nápolyból, a NATO Déli-régió Parancsnokságtól, hogy felmérjék a magyarországi Légierő alakulatainak helyzetét, képességeit, és javaslatokat tegyenek a minél gyorsabb felzárkózás érdekében. Munkájuk során megvizsgálták a személyi felkészültséget, a technikai biztosítottságot, és eljárásbeli azonosságokat, illetve különbségeket. A katonai szakmában nagyon gyorsan megtalálta az összhangot az alapvetően két katonai kultúrán felnevelkedett állomány, hiszen a hadviselés törvényszerűségei, az alapvető szabályok mindkét oldal számára nagyon hasonlóak, közel azonosak voltak.

A nyelvi és technikai kompatibilitás megteremtésén túl a segítők nagyon fontosnak ítélték, hogy a Légierő alakulatai a lehető leggyorsabban csatlakozzanak a NATO Integrált Légvédelmi Rendszerébe, amely biztosítja az egységes légtér felügyeletet és védelmet. Ez az integráció azonban elképzelhetetlen a hajózó, repülésirányító, radarállomás kezelő, harcálláspontokra beosztott, és földi telepítésű légvédelemnél szolgáló állomány elektronikai harc felkészítése nélkül. Ezért már 2000-ben megkezdődtek az első elektronikai harc gyakorlatok, melynek – azóta is – a legfőbb anyagi támogatását a NATO finanszírozza.

### *Az első néhány év elektronikai harc gyakorlatai (2000 – 2004)*

Mint azt korábban a bevezetőben írtam, Magyarországon az előző tíz év alatt (1991 – 2001) gyakorlatilag sikerült felszámolni az elektronikai harc alakulatokat, így elveszíteni azt a képességet, amellyel egyébként korábban rendelkezett a Honvédség, hogy saját alakulatait elektronikai harc körülmények között gyakoroltassa. Ennek következtében az egységeknél az elektronikai harc jelentőségének megítélése is egyre inkább csökkent, hiszen amivel nem találkozott a katona az vagy nincs, vagy nem fontos. Ezért aztán az elektronikai védelmi rendszabályok ismeretszintje csökkent, a követelmények betartása lanyhult, a védelmi eljárások – korábban rutinszintű – alkalmazása elfelejtődött.

Az első néhány évben nagy erőfeszítéseket kellett tenni az állomány oktatásában. Újból meg kellett ismertetni az alapvető elektronikai védelmi rendszabályokat. Megmutatni és begyakoroltatni eszközönként – az egyébként beépített – elektronikai védelmi berendezések alkalmazásának módjait. Bemutatni a különféle elektronikai zavarási tevékenységeket, a zavarok megjelenési formáit, azok felismerését, és az ellenük való védekezés módját. A zavarok jelen-

<sup>9</sup> Dolgozatomban alapvetően a légvédelmi rakétacsapatok kompatibilitásával szándékozom foglalkozni, ezért a radarszázadokkal kapcsolatos követelmények taglalását mellőzöm.

<sup>10</sup> A KRUG légvédelmi rakétarendszer korábban, már 2001-ben kivonásra került a Magyar Honvédség hadrendjéből.



tésének szükségességét, a zavarjelentő táblázatok alkalmazását. Ha egy kicsit dőcögösen is – a korábbi tapasztalatok hiányában –, de megismertetésre kerültek ezek az alapvető dolgok a radar, rádió, és légvédelmi eszközöket kezelő állománnyal.

Az elektronikai harc gyakorlatot a 2004-es évben új megközelítéssel kezeltük. A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Elektronikai Harc Tanszékéről kértünk segítséget általános elektronikai harc előadások megtartására. A tanszék négyfős tanári csoportot biztosított az ezred számára. A tanárok két napban számos előadásban világitották meg az elektronikai harc aspektusait a gyakorlatra készülő állomány számára. Az előadássorozatnak köszönhetően minden résztvevő még jobban megértette az elektronikai harc lényegét, az elektronikai védelmi rendszabályok betartásának fontosságát, a kisugárzások lehető legkisebb ideig és a szükséges minimális teljesítménnyel történő használatát, az optikai és elektromágneses álcázás fontosságát.

Az általános felkészítést követően a vezetési zászlóalj, az 1. és 2. légvédelmi rakétaosztályok állománya technikai eszköz specifikus felkészítésen vett részt, amelyen minden kezelő a saját eszközének megfelelő elektronikai harc védelmi és ellenrendszabályokból kapott felkészítést. A NATO elektronikai harc gyakorlat során, a korábbi évek eredményeihez viszonyítva, gyorsabban jelentek meg a jelentések a vezetési ponton a zavarokról, a zavartípusokat a kezelők jobban meg tudták határozni, és a zavarok elleni tevékenység is hatékonyabb volt.

#### *A NATINEADS EWTR '05 HU/SLO<sup>11</sup> gyakorlat tapasztalatai [1]*

A gyakorlat előkészítésére és végrehajtására a MH LEP<sup>12</sup> parancsa [2] alapján került sor. A 2005. évi elektronikai harc gyakorlat előtt a felkészítést a dandár felderítő főnöksége a légvédelmi rakétaosztályok felderítő tisztjeinek bevonásával végezte az előző év tapasztalatainak felhasználásával, közel azonos kezelőállománnyal a békehelyőrségben, Győrött.

„A gyakorlaton a dandár a következő eszközökkel vett részt:

- 2 db K–1P FDC<sup>13</sup>;
- 1 db SzT–68U/M<sup>14</sup> (TIN SHIELD);
- 1 db P–18M<sup>15</sup> (SPOON REST);
- 1 db PRV–16<sup>16</sup> (THIN SKIN-B);
- 4 db SzURN<sup>17</sup> (STRAIGHT FLUSH);
- 8 db PU, SA–6 indítóállvány;
- 4 db SHORAR MCP<sup>18</sup> radar;
- 4 db ATLAS<sup>19</sup> indítóállvány.” [1. p 107.]

<sup>11</sup> NATINEADS EWTR '05 HU/SLO – NATO Integrated Extended Air Defense System Electronic Warfare Training '05 HU/SLO – Magyar/Szlovén NATO Egységes Kiterjesztett Légvédelmi Rendszer Elektronikai Harc Gyakorlat 2005

<sup>12</sup> MH LEP – Magyar Honvédség Légierő Parancsnokság

<sup>13</sup> FDC – Fire Distribution Centre – Tűzelosztó Központ

<sup>14</sup> SzT-68U/M – Közepes hatótávolságú „D-F” sávú radarállomás

<sup>15</sup> P-18M – Közepes hatótávolságú „A” sávú radarállomás

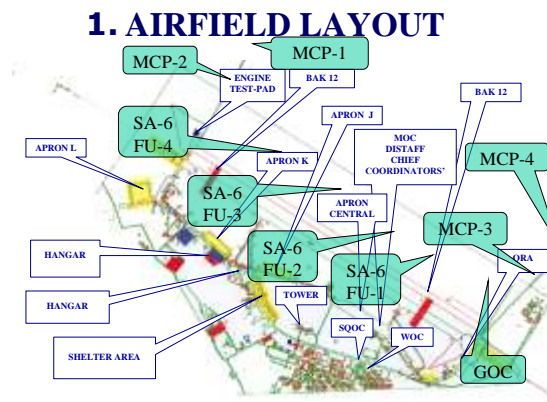
<sup>16</sup> PRV-16 – Közepes hatótávolságú „G-J” sávú magasságmérő radarállomás

<sup>17</sup> SzURN – KUB (SA-6) önjáró felderítő és rávezető radarállomás

<sup>18</sup> MCP – MISTRAL Coordination Post

<sup>19</sup> ATLAS – MISTRAL-2 rakéta indítóállvány

A Kecskemétre szállított eszközök a repülőbázis területére – az alegységek a telepítési követelményekben meghatározott, egymástól való előírt távolság normák figyelmen kívül hagyásával – összezsúfolva kerültek letelepítésre. A szabványok figyelmen kívül hagyására az őrzés-védelem, valamint a takarékosági intézkedések miatt volt szükség. Ezen kívül a gyakorlaton résztvevő állomány ellátása ilyen módon sokkal egyszerűbb volt. Ugyanakkor a kitelepült csoportosítás vezetési pont (GOC<sup>20</sup>) és a tűzalegységek (FU<sup>21</sup>) együttműködése, a feladatok, célok elosztása könnyebb volt. Ráadásul a zavaró és ellentevékenységet ellátó repülőgépek és helikopterek célkiválasztását a kialakult helyzet nehezítette. A kitelepült alegységek elhelyezkedését az 1. számú ábra szemlélteti.



1. ábra Települési helyek az 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázison, Kecskemét [1. p. 111]

A teljes elektronikai harc gyakorlat ideje alatt a dandár felderítő főnökének lehetősége volt részt venni a repülések előtti, valamint a repülések utáni eligazításokon. A legfontosabb pontosítások elvégezhetőek voltak a zavarást végző állománnyal. Ki tudtuk cserélni a zavarokra, zavarásra, zavar elleni védelemre vonatkozó adatokat, ami megkönnyítette a következő ütemre való felkészülést mindkét félnek. A zavarások ütemezését az 1. számú táblázat szemlélteti.

A gyakoroltatásban a zavaró repülőgépeken kívül MiG-29 és L-39 repülőgépek, valamint Mi-24D harci helikopterek is részt vettek. Ezek a repülőeszközök biztosították a bonyolult légi helyzetet, különböző manővereket hajtottak végre a kitelepült légvédelmi alegységek ellen. Zavar fedezete alatt gyakoroltatták a légvédelmi kezelőállományt a támadó légi célok felderítésében, azonosításában, elfogásában és leküzdésében. A repülések előtti és utáni eligazításokon szintén lehetősége volt a légvédelmi rakétadandár gyakorlatvezetésének, hogy egyeztesse a feladatokat, és megossza a tapasztalatokat a hajózó állománnyal.

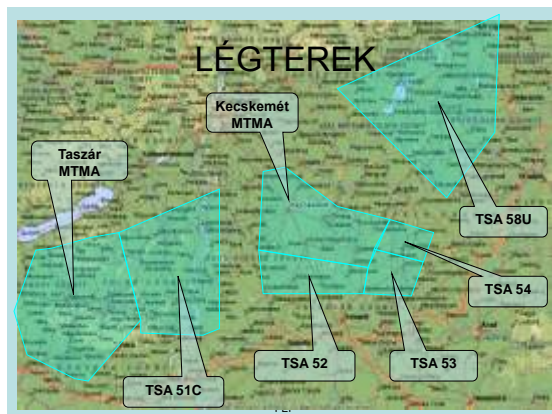
<sup>20</sup> GOC – Group Operational Centre – Csoportosítás Vezetési Pont

<sup>21</sup> FU – Fire Unit – Tűzalegység

Gyakorló alakulat	Gyakorló eszköz	Zavaró eszköz	Zavaró eszköz helye	Zavarás típusa <sup>22</sup>
Első nap: 2005. április 26. 06.00Z – 09.00Z és 11.00Z – 14.00Z (Z=ZULU TIME)				
MH 12. lérak. dd.	SA-6, P-18M SzT-68U, MCP	Learjet	LHKE MTMA TSA-52, -53, -54	F-1-től F-26-ig, P-1-től P-12-ig
Második nap: 2005. április 27. 06.00Z – 09.00Z és 11.00Z – 14.00Z				
MH 12. lérak. dd. Radarcsoport Városföld	SA-6, P-18M SzT-68U, MCP, P-37, PRV-17	Learjet, DA-20	LHKE MTMA TSA-52, -53, -54	F-1-től F-2-ig, F-11-től F-17-ig, P-5
Harmadik nap: 2005. április 28. 06.00Z – 09.00Z és 11.00Z – 14.00Z				
MH 12. lérak. dd.	SA-6, P-18M SzT-68U, MCP	Learjet	LHKE MTMA TSA-52, -53, -54	F-1-től F-2-ig, F-11-től F-17-ig, P-5

1. táblázat A zavarás ütemezése [1. p. 116]

A Magyar Köztársaság területén aktivizált légtereket a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra A Magyar Köztársaság területén aktivizált légterek [1. p. 113]

A gyakorlaton a dandár kirendelt állománya nagyon jó eredményeket ért el. A célok jelentős százalékát zavarás körülményei között képes volt követni, a zavar fedezete alatt támadó repülőgépek és helikopterek ellen alkalmazni tudta eszközeit. Megállapítást nyert, hogy az ilyen típusú gyakorlás mind a repülőgép- és helikoptervezető, mind a radarállomás kezelő légvédelmi rakéta tüzér állomány részére kölcsönösen előnyös. A tapasztalatok feldolgozása kölcsönös előnyöket jelent mindegyik fél számára.

A NATINEADS gyakorlat nagyon jól szolgálta a radarkezelő és légvédelmi beosztású szakállomány elektronikai hadviselés környezetben végrehajtandó szakfeladataira való felkészítését. A teljes résztvevő állomány megtapasztalhatta, hogy az egyes zavartípusoknak milyen hatása van, vagy lehet a különböző hullámtartományú radarokra. Gyakorlatot szereztek bonyolult körülmények között a légi célok követésében, megkülönböztetésében, zavar körülményei közötti tűzvezetésben, a zavarvédelmi eljárások begyakorlásában, és megtapasztalhatták, hogy technikai eszközeik ismerete és magas szintű jártassággal történő kezelése hozzásegíti őket

<sup>22</sup> Zavarkódok magyarázata [1. pp. 108–110]

feladataik maradéktalan ellátásához. Gyakorlatot és jártasságot szereztek a zavarok elhárításában, NATO követelményeknek megfelelő jelentésében.

### *A NATINEADS EWTR '06 HU/SLO<sup>23</sup> gyakorlat tapasztalatai [3]*

A korábbi éveknek megfelelően a gyakorlatra kijelölt állomány még Győrött, a laktanyában kétnapos felkészítésen vett részt, melyen megújítottuk az állomány elektronikai harc ismereteit, valamint az okmányok kezelésének szabályait és a jelentések rendjét. Az objektív kontroll biztosítása érdekében – a korábban beszerzett – kamerák felhasználásával feladatot szabtuk a zavarjelenségek és az alkalmazott zavarvédelmi eljárások rögzítésére. A zavarészlelési táblázatok kitöltésére, a zavarjelentések pontos megtételére, és a zavarási módok, vagy teljesítmények változtatási igényére külön felhívtuk a résztvevők figyelmét.

A 2006. évi elektronikai harc gyakorlat a 12. Légvédelmi Rakétadandár kijelölt állománya és technikai eszközei számára Pápa Bázisrepülőtér területén került megtartásra. Az előző évhez viszonyítva egy csökkentett KUB üteggel kevesebb technikai eszközzel vett részt a dandár kijelölt csoportosítása a feladatban.

A Légierő parancsnok levezetési terve [4] pontosította a végrehajtandó feladatokat, helyszíneket, légtereket és a tevékenység rendjét, amely alapján elkészült a MH 12. Légvédelmi Rakétadandár parancsnokának szervezési intézkedése, melyben az alakulat állományából kirendelt személyi állomány és technikai eszközök konkrét feladati, települési helyei, valamint a készenlét ideje kerültek meghatározásra. Az alegységek elméleti felkészítése – az előző évhez hasonlóan – az alakulat laktanyájában, több napban, a felderítő főnökség és az alegységek felderítő tisztjeinek bevonásával történt. Felfrissítették az előző években megtanultakat, valamint bemutatásra került az előző évi elektronikai harc gyakorlat tapasztalatait szemléletesen bemutató Microsoft Power Point előadás is.

A települési helyeket a repülőtér területén a 3. számú ábra szemlélteti.



3. ábra A 12. légvédelmi rakétadandár technikai eszközeinek települési helyei az MH 5. Pápa Bázisrepülőtér<sup>24</sup>

<sup>23</sup> NATINEADS EWTR '06 HU/SLO – NATO Integrated Extended Air Defense System Electronic Warfare Training '06 HU/SLO – Magyar/Szlovén NATO Egységes Kiterjesztett Légvédelmi Rendszer Elektronikai Harc Gyakorlat 2006

<sup>24</sup> Pápa BRT.jpeg (Papp Tamás mk. őrgy), MCP – MISTRAL Coordination Post, KUB (SA-6) – SZURN – (Straight Flush radar), GOC – Group Operational Center

Az előző évtől eltérően a repülések előtti és utáni eligazításokon – a nagy fizikai távolság miatt – a légvédelmi csoportosítás állománya személyesen nem, csak összekötő tiszt útján vehetett részt. Ez a körülmény nem gátolta ugyan meg a jó együttműködést a zavarást és célfeladatokat ellátó állomány, valamint a légvédelmi tevékenységet végzők között, de mindenképpen nehezítette. Nem volt meg az a közvetlen kontaktus és visszacsatolás egyik félnek sem, mint az előző évben. A lehetőségek kihasználása érdekében – csak a gyakorlatot irányító személyek bevonásával – a kijelölt légtérben mind a zavaró, mind az alájátszó repülő eszközök előre meghatározott tevékenységeket végeztek. A Learjet zavaró repülőgép egyik útvonalát a 4. számú ábra szemlélteti.



4. ábra LEARJET zavaró repülőgépek igényelt célpályái<sup>25</sup> [3. p. 120.]

Az alájátszó repülőgépek pontos helyének ismerete is elengedhetetlen, hiszen abból lehet és kell megítélni a zavarás hatékonyságát. Amennyiben az alájátszó repülőgépek jelentősebb probléma nélkül felderíthetők, akkor az adott zavarási mód nem megfelelő, vagy a zavarási teljesítmény kicsi. Az 5. számú ábra az L-39, ALBATROSZ, alájátszó repülőgépek célpályáit mutatja.



5. ábra L-39 ALBATROSZ "alájátszó célrepülőgépek" igényelt célpályái<sup>26</sup> [3. p. 121.]

A 2006-os elektronikai hadviselési gyakorlat abból a szempontból is jelentősen eltért a korábbiaktól, hogy néhány forgószárnyas repülőeszközt is sikerült bevonni az alájátszásba. Ezen repülőeszközök pontos helyének ismerete is elengedhetetlen, hiszen abból lehet és kell meg-

<sup>25</sup> Szincsik András őrgy. (TDO) által a gyakorlatra összeállított repülési igény 1. lap

<sup>26</sup> Szincsik András őrgy. (TDO) által a gyakorlatra összeállított repülési igény 2. lap



ítélni a zavarás hatékonyságát, hogy milyen módon képesek felderíteni és követni a radarkezelők ezeket a gépeket. Amennyiben az alájátszó helikopterek is jelentősebb probléma nélkül felderíthetők, akkor az adott zavarási mód nem megfelelő, vagy a zavarási teljesítmény kicsi. A 6. számú ábra a Mi-24, HIND, alájátszó helikopterek célpályáit mutatja.



6. ábra Mi-24, HIND "alájátszó célhelikopterek" igényelt célpályái<sup>27</sup> [3. p. 122.]

A gyakorlat teljes idejére vezetékös összeköttetés volt a radarállomások kezelőszemélyzete, a K1–P tüzelosztó kabin, és az ügyeletes felderítő tiszt között, akinek jelezték, hogy zavarást észleltek. Meghatározásra, vagy pontosításra került a zavar lehetséges típusa, hatásossága, az ellene alkalmazott zavarvédelmi eljárás hatékonysága, kiképzési értéke és az, hogy szükséges-e növelni, vagy csökkenteni az adott esetben a zavarás teljesítményét. Az ügyeletes felderítő tiszt a veszprémi harcállásponton települt összekötőtisztnak azonnal jelentette a zavarás tényét, és a zavarással kapcsolatos igényeket, aki továbbította azokat a gyakorlatvezetőnek. A JAMCHIEF<sup>28</sup> rádióon keresztül utasította a zavarást végrehajtó repülőgép kezelő állományát a szükséges beavatkozások végrehajtására. Az ADOTT PARANCSONK – VETT JELENTÉSEK könyvében minden jelentés, kérelem, intézkedés és esemény, rögzítésre került.

A fentiekből nyilvánvalóvá válik mindenki számára, hogy a gyakorlat mind a repülő, mind a légvédelmi állomány számára komoly kihívást és odafigyelést követelt meg. A korábbiaknak megfelelően a tüzelosztó központban és a tüzalegységeknél is az okmányok vezetése elengedhetetlen volt. Az egyes repülési szakaszok befejezését követően a légvédelmi csoportosítás parancsnoka vezetésével a tapasztalatok összegyűjtésre, feldolgozásra kerültek, és a következő ütemben már ezek figyelembe vételével folyt tovább a munka. A felderítő, radarállomás kezelő és a légvédelmi rakétatüzér állomány sokat tanult a gyakorlat ideje alatt. A 2006. évben – az előző évi gyakorlással ellentétben – nem állt rendelkezésünkre a repülőgép zavaró személyzete által vezetett grafikon, ezért a ténylegesen végrehajtott zavarások kódjai ismeretlenek voltak számunkra. A kialakult helyzetből levontuk a megfelelő tapasztalatot, miszerint a jövőben a JAMCHIEF melletti összekötőnk pontosabb eligazítása szükséges, mert nem készített időzavarkód szerinti feljegyzést a végrehajtott zavarásokról. Ennek hiányában a zavarások és a zavarvédelmi eljárások kiértékelése komoly nehézségeket okoz.

<sup>27</sup> Szincsik András őrgy. (TDO) által a gyakorlatra összeállított repülési igény 3. lap

<sup>28</sup> JAMCHIEF – Jamming Chief – zavarást irányító főnök



## A NATINADS EWTR '07 HU/SLO<sup>29</sup> gyakorlat tapasztalatai [5]

Az MH ÖHP<sup>30</sup> parancsnok parancsai [6, 7], a MH ÖHP levezetési terve [8], valamint a CAOC<sup>31</sup> 5 parancsnokhelyettes „Training Instruction 1/2007” alapján 2007. április 23-27. között végrehajtásra került a NATINADS EWTR 07 HU/SLO elektronikai hadviselés gyakorlat.

A gyakorlat előkészítését és végrehajtását az alakulat szintjén a Magyar Honvédség 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred parancsnok szervezési intézkedése szabályozta [9]. Az ezred felderítő főnöksége a vezetési zászlóalj, az 1. és 2. légvédelmi rakétaosztály bevonásával 2007. 04. 19-én felkészítő foglalkozást vezetett le az FDO<sup>32</sup> és TDO<sup>33</sup> állomány, illetve az SzT-68U/M, P-18M, SzURN és MCP kezelők részére. A felkészülés során feldolgozásra kerültek az elektronikai védelemmel kapcsolatos eljárások és rendszabályok, az elektronikai hadviseléssel kapcsolatos NATO okmányok vonatkozó részei, a kiadott parancsok és levezetési terv, a forgalmazási táblázat, zavarási kódok és a jelentések rendszere. A gyakorlaton az ezred az ELITE 2007 elektronikai hadviselés gyakorlatra tervezett személyi állománnyal és technikai eszközökkel vett részt:

- 1 db K-1P FDC (Fire Distribution Centre);
- 1 db SzT-68U/M (TIN SHIELD);
- 1 db P-18M (SPOON REST);
- 1 db SzURN (STRAIGHT FLUSH);
- 1 db PU, SA-6 indítóállvány;
- 1 db SHORAR MCP radar;
- 1 db ATLAS indítóállvány.

A kijelölt személyi állomány és technikai eszközök 2007. 04. 23-án elfoglalták települési helyeiket a Magyar Honvédség Pápa Bázisrepülőtéren, a szükséges híradó csatornákat kiépítették és a feladat végrehajtására felkészültek. Az igényelt, és a kezelő állomány jelentései alapján azonosított zavartípusokat a 2. táblázat tartalmazza.

Kód\Eszköz	P-18U/M	SzT-68U/M	SA-6	MISTRAL
<b>Zavarfajták:</b>	<b>A</b>	<b>E - F</b>	<b>G - H</b>	<b>I</b>
F1	•	•		
F2		•		
F3		•		
F4				
F5			•	•
F6				
F7				•
F8				
F9			•	
<b>Zavarfajták:</b>	<b>A</b>	<b>E - F</b>	<b>G - H</b>	<b>I</b>
F10				

<sup>29</sup> NATINADS EWTR '07 HU/SLO – NATO Integrated Air Defense System Electronic Warfare Training '07 HU/SLO – Magyar/Szlovén NATO Egységes Légvédelmi Rendszer Elektronikai Harc Gyakorlat 2007

<sup>30</sup> ÖHP – Összhaderőnemi Parancsnokság

<sup>31</sup> CAOC – Combined Air Operational Center – Összevont Légi Műveleti Központ

<sup>32</sup> FDO – Fire Distribution Officer – Tüzelosztó tiszt

<sup>33</sup> TDO – Target Distribution Officer – Célelosztó tiszt



Kód\Eszköz	P-18U/M	SzT-68U/M	SA-6	MISTRAL
F11				
F12				
F13			•	
F14				
F15				
F16				
F17			•	•
F18				
F19				•
F20				
F21				
F22				
F23				
F24				
F25				
F26				
P1				
P2				
P3				
P4				
P5	•	•		
P6				
P7		•		
P8				
P9				
P10				
P11				
P12				

Jelmagyarázat: ■ – igényelt zavartípus;  
 • – a kezelő állomány jelentései alapján észlelt zavartípus.

2. táblázat Az igényelt, és észlelt zavartípusok összehasonlítása [5]

A saját zavaró eszközök is hatásosnak bizonyultak az elektronikai harc kiképzés szempontjából. „TÜSKE-A”<sup>34</sup> zavaró berendezés a P-18-as radarállomást zavarta, 1 készlet 6 darab henger alakú eszközből áll. Működtetésénél a zavarás nagysága a radartól való távolságával, illetve az egyes eszközök egymáshoz viszonyított távolságával és elhelyezésével változtatható. A „KZ-1”<sup>35</sup> berendezés az SA-6 (KUB) komplexum lokátor állomásának a célfelderítő részét zavarja. Itt lehetőség van a frekvenciahangolásra, aminek megfelelően zavarható az 1.-es vagy 2.-es csatorna. A 7. számú ábra a „TÜSKE-A” zavaró berendezés egy tagját és a „KZ-1” zavaró berendezést mutatja működés közben.

<sup>34</sup> TÜSKE-A – P-18M méteres hullámhosszúságú radarállomás zavaró berendezés

<sup>35</sup> KZ-1 – KUB Zavaró berendezés



7. ábra "TÜSKE-A" és "KZ-1" zavaró berendezés<sup>36</sup>

A Pápa Bázisrepülőtérre kitelepült légvédelmi rakétacsoportosítás a gyakorlat alatt a következő oldalon található 8. számú ábrának megfelelő vezetékes híradást alkalmazta<sup>37</sup>.

A vezetékes híradással biztosított volt a csoportosítás belső információ áramlása, valamint az előljáró felé a jelentések időben történő megtétele, valamint a gyakorlat folyamán bármilyen igény megfogalmazása.

A csatlakozó bálványról<sup>38</sup> a K-1P-be vezetett két telefon fővonalon keresztül állandó közvetlen kapcsolatot lehetett tartani a JAMCHIEF mellett levő összekötővel, a zavarási igények –

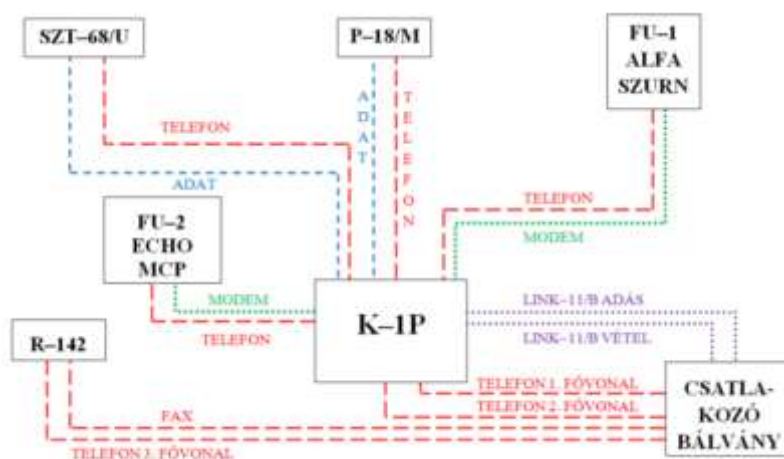
<sup>36</sup> MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred felderítő főnökség felvételei

<sup>37</sup> A NATINADS EW TR '07 HU/SLO vezetékes híradás vázlata, a szerző rajza

zavartípus, zavarteljesítmény – befolyásolása érdekében, valamint a CRC<sup>39</sup>-ben települt gyakorlat irányítókkal. A K–1P-be érkező LINK–11/B adás-vétel vonalakon keresztül kapta meg a vezetési pont a RAP<sup>40</sup>-et a CRC-ből, és adta a LAP<sup>41</sup>-et a CRC-nek.

Az R–142 RH/URH rádióállomásban a felderítő főnök tartotta a kapcsolatot a gyakorlatvezetőséggel a telefonvonalon keresztül, valamint az ETAP-ok végén a zavarásról az összesített jelentést a telefaxon terjesztette fel. A radarállomások egy-egy adatvonallal csatlakoztak a K–1P-hez, amelyen keresztül a radar felderítési adatokat szolgáltatták a tűzosztó központ számára. A K–1P a SzURN-al és az MCP-vel az adatátvitelt modemen keresztül valósította meg. Ezen a vonalon keresztül kerültek kiadásra a különböző parancsok – elektronikus formában – és a célmegjelölések.

A K–1P minden alárendelttel telefonvonalon is összeköttetésben állt, az esetleg felmerülő problémák kezelésére.



8. ábra A NATINADS EW TR '07 HUN/SLO vezetékes híradás vázlata<sup>42</sup>

### A NATINADS NEWFIP '08 HUN/SVN/ITA<sup>43</sup> gyakorlat tapasztalatai [10]

A MH ÖHP PK parancsai [11][12][13] a „CAOC 5 Training Instruction”, valamint a MH ÖHP felderítő főnök 3/14/2008/Feld. számú levezetési terve alapján, 2008. március 03-14. között megtartásra került a NATINADS NEWFIP '08 HUN/SVN/ITA elektronikai hadviselési gyakorlat, melyben az ezred kijelölt állománya és eszközei 2008. március 02-07. között vettek részt.

A gyakorlat előkészítését és végrehajtását az alakulat szintjén a Magyar Honvédség 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred parancsnok 369/6/2008. számú szervezési intézkedése szabályozta. A gyakorlat állománytáblája úgy került kialakításra, hogy az ELITE 2008<sup>44</sup>

<sup>38</sup> Csatlakozó bálvány – sokeres telefonvezetékek kifejtési pontja, lecsatlakozási pont

<sup>39</sup> CRC – Control and Reporting Center – Légi Irányító Központ

<sup>40</sup> RAP – Recognised Air Picture – Azonosított Légi Helyzetkép

<sup>41</sup> LAP – Local Air Picture – Helyi Légi Helyzetkép

<sup>42</sup> A szerző rajza

<sup>43</sup> NATINADS NEWFIP '08 HUN/SVN/ITA – NATO Integrated Air Defense System NATO Electronic Warfare Force Integration Period '08 HUN/SVN/ITA – Magyar/Szlovén/Olasz NATO Egységes Légvédelmi Rendszer NATO Elektronikai Harc Erők Egységesítése Szakasz 2008

<sup>44</sup> ELITE 2008 – Electronic Warfare Live Training Exercise 2008 – Valós Zavarokkal Biztosított Elektronikai Harc Gyakorlat 2008



elektronikai hadviselési gyakorlatra tervezett személyi állomány és technikai eszközök részt vegyenek a gyakorlaton.

A gyakorlaton az ezred a következő főbb harci-technikai eszközökkel vett részt:

- 1 db K-1P digitalizált tűzelosztó kabin (Fire Distribution Centre – FDC);
- 1 db SzT-68U (TIN SHIELD);
- 1 db P-18M (SPOON REST);
- 2 db SzURN (STRAIGHT FLUSH);
- 4 db PU, SA-6 indítóállvány.

A csoportosítás kiképzését biztosító NATO JEWCS zavaró eszköz:

- 1 db DA-20 típusú zavaró repülőgép (FR AVIATION).

A MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis állományából kijelölt célrepülőgépek:

- 2 db L-39 típusú repülőgép.

A kijelölt csoportosítás 2008. március 02-án közúti menetet hajtott végre és elfoglalta települési helyét a MH Pápa Bázisrepülőtéren. 2008. március 03-án reggel a bázisrepülőtér kijelölt személyei foglalkozásokat vezettek, majd vizsgáztattak a repülőtérre vonatkozó speciális biztonsági és titokvédelmi rendszabályok ismeretéből. Az ezred csoportosítása a délelőtti folyamán kiépítette a szükséges híradó csatornákat, elvégezte a telepítés utáni ellenőrzéseket és felkészült a feladatra. Ugyancsak a délelőtti során kiadásra kerültek a zavaresemény jelentő és összesítő lapok az érintett kezelőállomány részére, pontosításra kerültek azok vezetésének szabályait.

A gyakorlat során napi kapcsolatot tartottunk fenn JEWCS<sup>45</sup> zavarást végrehajtó állományával és a kijelölt magyar célrepülőgépek személyzetével. A zavaró tevékenység – tájékoztatás szerint a Szlovéniában uralkodó időjárás viszonyok miatt – a levezetési tervtől eltérő ütemezés szerint valósult meg, ezért a 16 óra 30 perc időtartamból mindösszesen 6 óra 55 perc zavarás valósult meg, melyet a 3. számú táblázat tartalmaz:

Dátum:	Idő:	Időtartam:
2008. 03. 03.	13.00Z – 13.45Z	45 perc
2008. 03. 04.	08.30Z – 10.30Z	2 óra
	13.00Z – 15.00Z	2 óra
2008. 03. 05.	08.30Z – 09.40Z	1 óra 10 perc
2008. 03. 06.	08.30Z – 09.30Z	1 óra
Zavarási idő összesen:		6 óra 55 perc

3. táblázat A zavarás tervezett periódusai [10]

A zavaró repülőgép a tervezett útvonalon, az eszközeink felderítési-követési lehetőségei szerint egyeztetett távolságokon kezdte meg a zavaró tevékenységet. Bár a zavaró konténer meghibásodása miatt a 2008. évben zavarási idő kiesés nem volt, a zavarás összideje kevesebb volt az előző években megszokottnál (kb. fele).

A 4. számú táblázatban az összekötő tisztünk és a kezelőállomány jelentései alapján az alkalmazott és az észlelt zavartípusok láthatók eszköz-típus szerinti bontásban:

<sup>45</sup> JEWS – Joint Electronic Warfare Core Staff – Egyesített Elektronikai Hadviselési Központi Csoport



Kód\Eszköz	P-18M	SZT-68U	SA-6
Sáv:	A	E – F	G – H
J14		•	
J15		•	
J16			
J17		•	
J18		•	
J28			•
J29			•
J30			•
J31			
J32			•
J33			•
J34			
J35			
J36			
J37			
J38			
J39			
J40			
J41			
TÜSKE-A	•		

Jelmagyarázat: ■ – a zavarók jelentései alapján alkalmazott zavartípus;  
 • – a kezelő állomány jelentései alapján észlelt zavartípus.

4. táblázat Alkalmazott és észlelt zavartípusok eszköz-típus szerinti bontásban [10]

**A zavarás és a zavarcsökkentő eljárások hatékonyságának megítélése:**

P-18M: A berendezés zavarására három etap alkalmával került sor a TÜSKE-A típusú eszközzel. A kezelők 11 zavareseményt jelentettek, melyek összesítve 1 óra 55 perc zavarási időt adnak. A zavar típusát célzott zajként azonosították, a kiadott útmutató szerint hatását átlagosan 2,64-re, kiképzési értékét 2,91-re értékelték. Az alkalmazott zavarszűrési eljárások (KFSz<sup>46</sup>, MTI<sup>47</sup>, VARU<sup>48</sup>, NAI<sup>49</sup>, NA<sup>50</sup>, A<sup>51</sup>, CFAR<sup>52</sup>, PZT<sup>53</sup>) hatékonysága átlagosan 29,1 % volt.

SzT-68U: A kezelőállomány 53 zavareseményről tett jelentést, melyek összideje 4 óra 23 perc. Ennek alapján a zavarási idő kihasználtsága 63 %. A zavarás hatásának átlagértéke 2,13; kiképzési átlagértéke 2,09 volt. Az alkalmazott zavarcsökkentő eljárások (autokompensátor,

<sup>46</sup> KFSz – Középfrekvenciás szűrő

<sup>47</sup> MTI – Mozcél kiválasztó

<sup>48</sup> VARU – Távolság szerinti erősítésszabályozás

<sup>49</sup> NAI – Normalizált Amplitúdó Integrálással

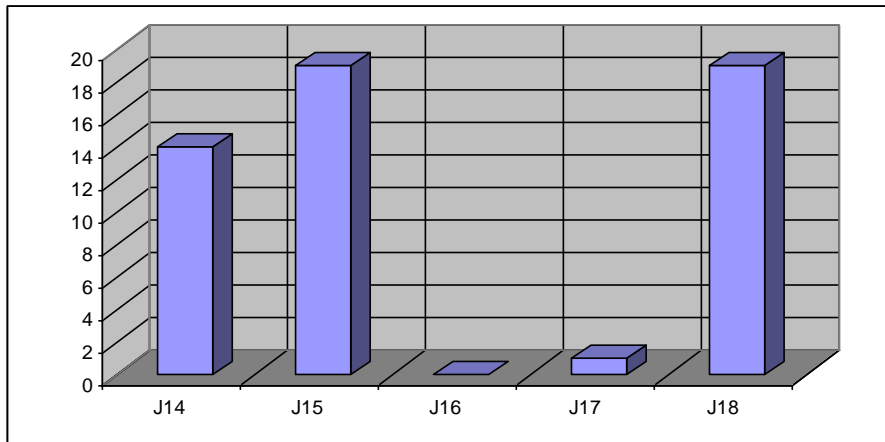
<sup>50</sup> NA – Normalizált Amplitúdó

<sup>51</sup> A – Amplitúdó

<sup>52</sup> CFAR – Környezeti zajtól függő dinamika-kompresszor

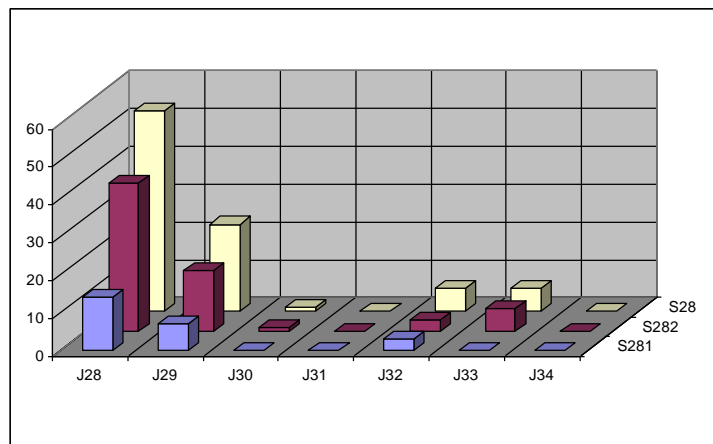
<sup>53</sup> PZT – Passzív zavartérkép

pellengátor, PBO<sup>54</sup>, NAP<sup>55</sup>, DMTI<sup>56</sup>, CFAR) átlagos hatékonysága 49,0 % volt. Az esemény utáni jelentések alapján a zavartípusok gyakorisága a következő grafikon szerint alakult, melyet a 9. ábra mutat:



9. ábra Az SZT–68U radaron észlelt zavartípusok zavaresemények szerinti megoszlása

SA–6 (KUB): A két KUB üteg (S28) kezelőállománya 89 zavareseményről tett jelentést, amelyből 24-et az első (S281), 65-öt a második (S282) üteg tapasztalt. A zavaresemények összideje 7 óra 33 perc volt, így a zavarási idő kihasználtsága 109 %. Ez a magas érték abból adódik, hogy az SzRC<sup>57</sup> és az SzN<sup>58</sup> berendezések elleni zavarás intervallumai időben több alkalommal átfedték egymást. A kezelők az összes zavaresemény 84 %-át az SzRC-n, 16 %-át az SzN berendezésen észlelték. A zavarás hatásának értékelése átlagosan 1,74; kiképzési átlagértéke 2,52 volt. Az alkalmazott zavarcsökkentő eljárások hatékonyságát a kezelőszemélyzet összességében 80,7 %-ra értékelte. A zavartípusoknak a zavaresemények és az ütegek szerinti megoszlását a következő grafikon szemlélteti, melyet a 10. ábra mutat:



10. ábra Az SA–6 (S28) radarjain észlelt zavartípusok zavaresemények és alegységek szerinti megoszlása

<sup>54</sup> PBO – Oldalszirmon vett válaszipulzus elnyomás

<sup>55</sup> NAP – Нестационарная активная помеха – nyesztacionarnaja aktivnaja pomеха – nemstacioner aktív zavar (a radar kisugárzási idejénél rövidebb ideig tartó zavar)

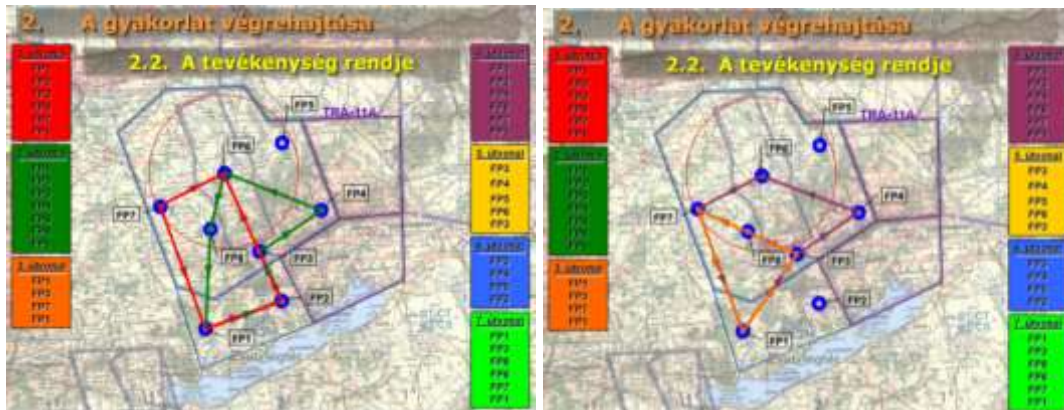
<sup>56</sup> DMTI – Digital Moving Target Indicator – Digitális mozgó cél indikátor

<sup>57</sup> SzRC – СРЦ – Станция разведки и целеуказания – Célfelderítő és célmegjelölő lokátorállomás

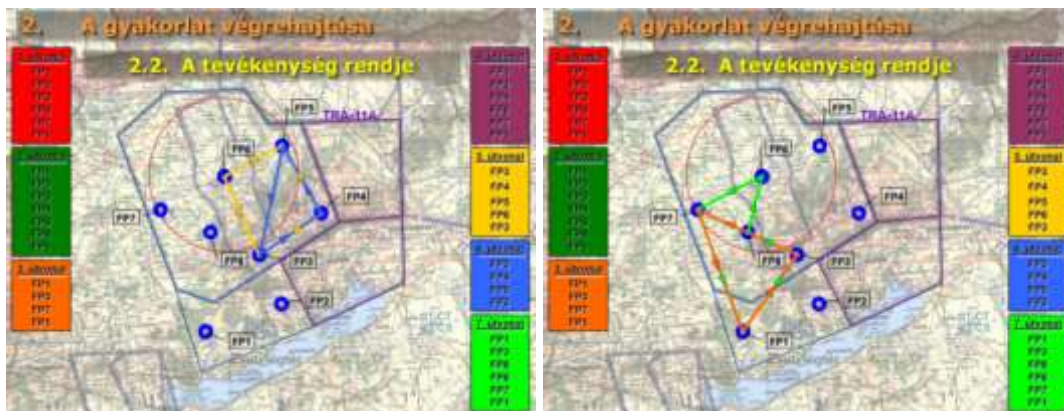
<sup>58</sup> SzN – СН – Станция наведения – Rávezető állomás



A MH 59. Szentgyörgy Dezső Repülőbázis állományából kijelölt két darab L–39 Albatrosz repülőgép a 11. és 12. számú ábrák szerinti útvonalakon hajtotta végre tevékenységét:



11. ábra Az L–39 Albatrosz repülőgépek útvonalai [14. p 11–12.]



12. ábra Az L–39 Albatrosz repülőgépek útvonalai [14. p 13–14.]

### *A NATINADS NEWFIP '09 HUN/SVN/ROM<sup>59</sup> gyakorlat tapasztalatai [15]*

Az MH ÖHP PK parancsa [16], a „CAOC5 Training Instruction”, továbbá az MH ÖHP felderítő főnök levezetési terve alapján NEWFIP (NATINADS) 2009 magyar, szlovén, román többnemzeti elektronikai hadviselés gyakorlat került levezetésre Kecskeméten.

A gyakorlat előkészítését és végrehajtását az alakulat szintjén ezredparancs [17] szabályozta. A felkészülés időszakában az ezred kijelölt előkészítő csoportja szemrevételezte az MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis területén rendelkezésre álló települési helyeket, a repülőtér képviselőivel egyeztető megbeszélést folytatott a csoportosítás logisztikai és híradó biztosításával kapcsolatban. Az érintett alegységek 2009. szeptember hónapban saját terveik alapján önálló felkészülést hajtottak végre, majd egy napon a teljes kijelölt állomány részére közös elektronikai harc felkészítést vezetett le a felderítő főnökség.

A gyakorlat vezetőségébe egy fő összekötő tisztet biztosítottunk. A gyakorlat során napi kapcsolatot tartottunk fenn a JEWCS<sup>60</sup> zavarást végrehajtó állományával és a kijelölt magyar célrepülőgépek személyzetével.

<sup>59</sup> NATINADS NEWFIP '09 HUN/SVN/ROM – NATO Integrated Air Defense System NATO Electronic Warfare Force Integration Period '09 HUN/SVN/ROM – Magyar/Szlovén/Román NATO Egységes Légvédelmi Rendszer NATO Elektronikai Harc Erők Egységesítése Szakasz 2009

<sup>60</sup> JEWS – Joint Electronic Warfare Core Staff – Egyesített Elektronikai Hadviselési Központi Csoport



A gyakorlaton az ezred a következő főbb harci-technikai eszközökkel vett részt:

- 1 db K-2PC<sup>61</sup>;
- 1 db K-1P, FDC;
- 1 db P-18M;
- 1 db SzT-68UM;
- 1 db PRV-16;
- 2 db SzURN;
- 4 db PU;
- 1 db MCP;
- 5 db ATLAS<sup>62</sup> indítóállvány.

A csoportosítás kiképzését biztosító NATO JEWCS zavaró eszközök:

- 2 db DA-20 típusú zavaró repülőgép (COBHAM).

A repülőbázis állományából gyakorlásra kijelölt repülőgépek:

- 2 db L-39 ALBATROSZ típusú repülőgép;
- 6 db JAS-39 GRIPEN típusú repülőgép (GROUCH).

A zavaró tevékenység a kiadott levezetési terv szerinti ütemezéssel valósult meg, melyet az 5. számú táblázat tartalmaz:

Dátum:	Idő:	Időtartam:
2009. 10. 19.	0700Z – 1000Z	44 perc
	1200Z – 1500Z	34 perc
2009. 10. 20.	0700Z – 1000Z	25 perc
	1200Z – 1500Z	35 perc
2009. 10. 21.	0700Z – 1000Z	34 perc
	1200Z – 1500Z	34 perc
2009. 10. 22.	0700Z – 1000Z	49 perc
Zavarási idő összesen:		4 óra 15 perc

5. táblázat A zavaró tevékenység ütemezése [15]:

A repülőbázis állományából kijelölt repülőgépek által biztosított zavarási idők megoszlását a 6. számú táblázat tartalmazza:

Dátum:	Idő:	Időtartam:
2009. 10. 19.	0700Z – 1000Z	12 perc
	1200Z – 1500Z	32 perc
2009. 10. 20.	0700Z – 1000Z	4 perc
	1200Z – 1500Z	45 perc
2009. 10. 21.	0700Z – 1000Z	83 perc
	1200Z – 1500Z	0 perc
2009. 10. 22.	0700Z – 1000Z	0 perc
Zavarási idő összesen:		2 óra 56 perc

6. táblázat A JAS-39 GRIPEN repülőgépek által biztosított zavarási idő [15]

<sup>61</sup> K-2PC – mobil harcvezetési központ

<sup>62</sup> ATLAS – MISTRAL-2 indítóállvány



A csoportosítás ellen alkalmazott elektronikai zavarások összes ideje 7 óra 11 perc volt.

A DA–20 típusú zavaró repülőgépek K-i és Ny-i irányú repülési útvonalakon repültek, melynek során csak a fel- és leszálláskor biztosítottak zavarást részünkre. Ebből adódóan, az e típusok által végzett zavaró tevékenység időtartama – a korábbi évek viszonylatában is – csekélynek mondható. Bár az összekötő tisztünk és a JEWCS állományaival való napi megbeszélések révén mindenkor jól koordinálható volt a kívánt zavarási módok alkalmazása, a számunkra kedvezőtlen célpálya, a zavaróeszközök alacsony teljesítménye és a rövid zavarási események következtében ezek kiképzési értéke viszonylag alacsony szintű volt.

A DA–20 típusú repülőgépek által alkalmazott zavarókonténerek az „A” (P–18M) és a „G” frekvenciasáv (SzURN SzRC felső nyaláb) számunkra szükséges tartományában nem tudnak zavarást biztosítani. A P–18M kezelőállomását saját zavaróeszkővel (TŰSKE–A) gyakoroltattuk. Az SzRC felső nyaláb zavarásának hiánya a gyakorlat kiképzési értékét nem befolyásolta jelentős mértékben.

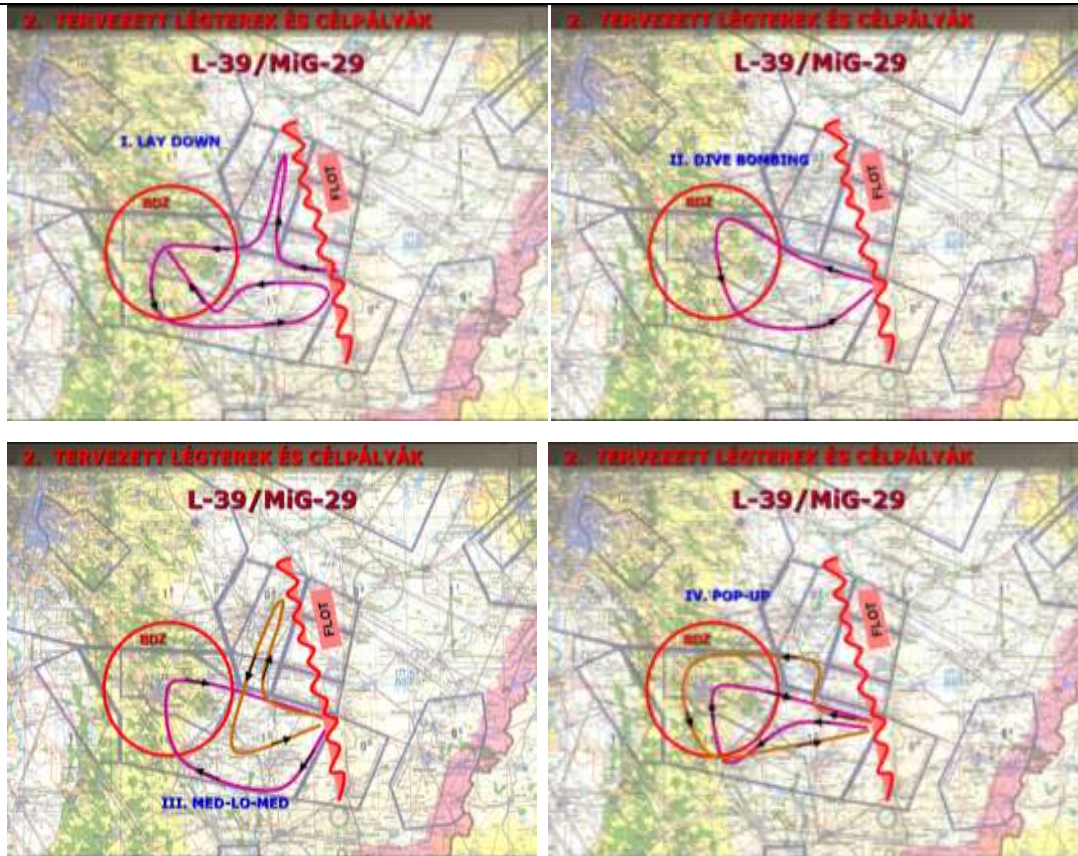
A DA–20 repülőgépek által az eszközeink ellen alkalmazott zavarási módokat a 7. számú táblázat tartalmazza:

E-F sáv/SZT–68U	G-J sáv/PRV–16, SA–6, MCP
<b>J14</b>	<b>J28</b>
<b>J15</b>	<b>J29</b>
<b>J17</b>	<b>J31</b>
<b>J18</b>	<b>J32</b>
<b>J21</b>	<b>J35</b>
<b>J22</b>	<b>J36</b>
<b>J23</b>	–

7. táblázat A DA–20 zavaró repülőgépek által alkalmazott zavarási módok [15]

Az alájátszó repülőgépek közül az L–39 típusúak az előre egyeztetett négy repülési profil szerint hajtottak végre támadást a repülőbázis vagy a SHORAD<sup>63</sup> eszközök ellen, melyeket a 13. számú ábra szemléltet:

<sup>63</sup> SHORAD – Short Range Air Defence – Közeli hatótávolságú légvédelem



13. ábra L-39 és MiG-29 repülőgépek repülés profiljai [18]

A JAS-39 típusú repülőgépek a kijelölt légifolyosót követve saját, vagy számunkra előre nem ismert támadási profilok alapján – elektronikai zavaró képességük alkalmazásával – ellenséges szerepkörök szerint tevékenykedtek. A Gripenek által végzett zavarás – a zavaróadó viszonylag alacsony teljesítménye miatt – a SzURN SzRC radarja ellen nem volt hatásos. Az SzN radar elleni tevékenység viszont – elsősorban az alkalmazott zavarási módszerek miatt – magas kiképzési értéket képviselt. A kezelők a zavarszűrési eljárások alkalmazásán túl a félautomatikus és a kézi követési módokat is gyakorolhatták. Hasznos volt a gyakorlat során, hogy a szimulált harc helyzetnek megfelelően a „Defector”<sup>64</sup> és a „Lame Duck”<sup>65</sup> eljárásokat is lehetőségünk volt gyakorolni. A légihelyzet összetettségét fokozta, hogy az adott időszakban a tervezett géptípusokon felül a repülőbázis az L-159 ALCA és a MiG-29 típusokkal is hajtott végre kiképzési repüléseket, melyeket a 14. számú ábra szemléltet:

<sup>64</sup> Defector – Dezertáló, átálló, vagy elfogott repülőeszközök bázis megközelítési eljárása

<sup>65</sup> Lame Duck – „Sérült kacs” – saját, sérült repülőeszközök bázis megközelítési eljárása



14. ábra JAS–39 GRIPEN repülőgépek tervezett útvonalai és a "DEFECTOR" és "LAME DUCK" eljárások [18]  
A tűzalegységek által végrehajtott célelfogásokat, tüzeléseket és a zavarás következtében elvesztett célok számát (kiképzési eseményenként) a 8. számú táblázat tartalmazza:

Fsz.	SA–6 1. üteg			SA–6 2. üteg			MISTRAL		
	Elfogás	Tüzelés	Célvesztés	Elfogás	Tüzelés	Célvesztés	Elfogás	Tüzelés	Célvesztés
1.	19	8	–	22	3	1	12	11	–
2.	7	5	–	12	10	–	13	8	–
3.	2	2	–	2	2	–	2	–	–
4.	14	14	–	16	15	1	7	5	–
5.	17	13	3	21	14	3	11	7	–
6.	11	8	–	10	8	–	2	2	–
7.	12	9	–	8	6	–	13	9	–
Σ:	82	59	3	91	58	5	60	42	–

8. táblázat Célelfogások, tüzelések és zavarok miatti célvesztések [15]

Ez volt az első olyan gyakorlat, ahol tűzalegységeink találkozhattak a Gripenek elektronikai zavarási képességeivel. A Gripenek által biztosított zavarás az összes zavarási idő 41 %-át képviselte. A mérsékelt zavarteljesítmény ellenére a SzURN rávezető állomások SzN radarjai ellen alkalmazott zavarási módok kitűnő lehetőséget adtak a kezelők gyakorlására. A repülőbázis állományával történt tapasztalatsere alapján kölcsönös előnyökkel járna a két alakulat szorosabb együttműködése az elektronikai harc kiképzés területén: a repülőbázis alaposabban megismerhetné a JAS–39 Gripen vadászrepülőgépek képességeit, az ezred SA–6 rendszerei számára pedig további gyakorlási lehetőség nyílna.

#### A NATINADS NEWFIP '10 HUN/SVN<sup>66</sup> gyakorlat tapasztalatai [19]

A MH ÖHP PK parancsa [20], a „CAOC5 Training Instruction”, továbbá az MH ÖHP felderítő főnök levezetési terve alapján NEWFIP (NATINADS) 2010 magyar, szlovén többnemzeti elektronikai hadviselés gyakorlat került megtartásra. A gyakorlat előkészítését és végrehajtását az alakulat szintjén a ezredparancs szabályozta [21]. A gyakorlat helyszíne és állománytáblája megegyezett a 2010. április 26. és május 07. között levezetésre került LOAD

<sup>66</sup> NATINADS NEWFIP '10 HUN/SVN – NATO Integrated Air Defense System NATO Electronic Warfare Force Integration Period '10 HUN/SVN – Magyar/Szlovén NATO Egységes Légvédelmi Rendszer NATO Elektronikai Harc Erők Egységesítése Szakasz 2010



DIFFUSER 2010 magyar-amerikai repülő harcászati gyakorlatával. Ennek megfelelően, a két gyakorlat előkészítése együttesen történt.

A felkészülés időszakában az ezred kijelölt előkészítő csoportja szemrevételezte az MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis területén rendelkezésre álló települési helyeket, a repülőtér képviselőivel egyeztető megbeszélést folytatott a csoportosítás logisztikai és híradó biztosításával kapcsolatban. Az érintett alegységek 2010. május hónapban saját terveik alapján önálló felkészülést hajtottak végre.

Az ezred kijelölt csoportosításának parancsnoka 2010. május 27-én felkészítő napot vezetett a gyakorlaton résztvevő teljes állomány részére. A foglalkozások keretében oktatásra kerültek a gyakorlattal kapcsolatos parancsok és intézkedések, az elektronikai védelemre vonatkozó eljárások és rendszabályok.

A gyakorlaton az ezred a következő főbb harci-technikai eszközökkel vett részt:

- 1 db K-2PC;
- 1 db K-1P, FDC;
- 1 db P-18M;
- 1 db SzT-68UM;
- 1 db PRV-16;
- 3 db SzURN;
- 3 db PU;

A csoportosítás kiképzését biztosító NATO JEWCS zavaró eszközök:

- 2 db DA-20 típusú zavaró repülőgép (COBHAM).

A repülőbázis állományából gyakorlásra kijelölt repülőgépek:

- 5 db JAS-39 GRIPEN típusú repülőgép.

A zavaró tevékenység a kiadott levezetési terv szerinti ütemezéssel valósult meg, melyet a 9. számú táblázat szemléltet:

Dátum:	Idő:	Időtartam:
2010. 05. 31.	0700Z – 1000Z	43 perc
	1200Z – 1500Z	29 perc
2010. 06. 01.	0700Z – 1000Z	38 perc
	1200Z – 1500Z	42 perc
2010. 06. 02.	0700Z – 1000Z	32 perc
	1200Z – 1500Z	27 perc
2010. 06. 03.	0700Z – 1000Z	21 perc
Zavarási idő összesen:		3 óra 52 perc

9. táblázat A zavaró tevékenység ütemezése [19]

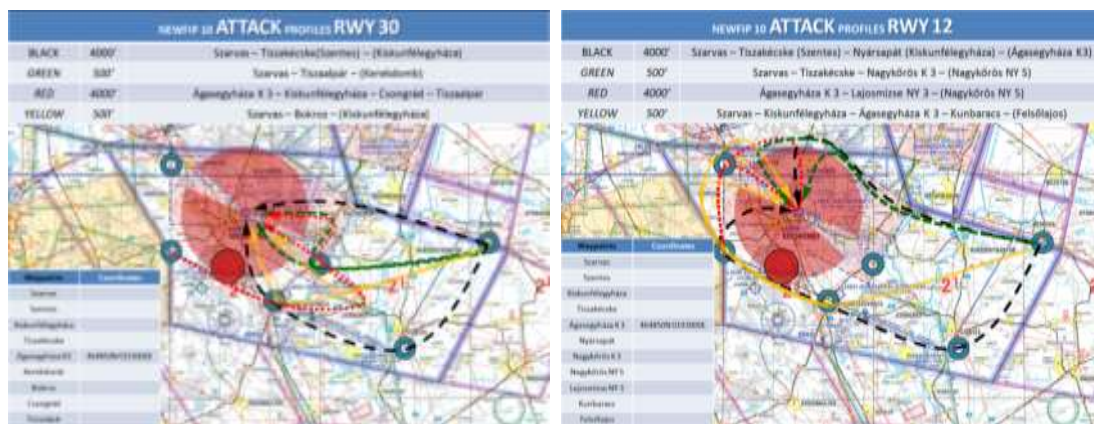
A DA-20 típusú zavaró repülőgépek K-i és Ny-i irányú repülési útvonalakon repültek, melynek során csak a repülő bázisra történő visszaérkezéskor biztosítottak zavarást részünkre. Ebből adódóan, az e típusok által végzett zavaró tevékenység időtartama csekélynek mondható. Bár az összekötő tisztünk révén mindenkor jól koordinálható volt a kívánt zavarási módok alkalmazása, a számunkra kedvezőtlen célpálya, a zavaróeszközök alacsony teljesítménye és a

rövid zavarási események következtében ezek kiképzési értéke viszonylag alacsony szintű volt a korábbi évekkal összehasonlítva.

A JAS-39 típusú repülőgépek előre egyeztetett repülési profilok szerint hajtottak végre támadást a repülőbázis vagy a légvédelmi rakéta csoportosítás eszközei ellen elektronikai zavaró képességük alkalmazásával. A Gripenek által végzett zavarás – a zavaradó viszonylag alacsony teljesítménye miatt – a SzURN SzRC radarja ellen nem volt hatásos. Az SzN radar elleni tevékenység viszont – elsősorban az alkalmazott zavarási módszerek miatt – magas kiképzési értéket képviselt. A kezelők a zavarszűrés eljárások alkalmazásán túl a félautomatikus és a kézi követési módokat is gyakorolhatták. A repülőbázis megközelítési eljárásait, mely meghatározza a kijelölt légvédelmi erők tevékenységét a 15. számú ábra, és a légibázis támadásának eljárásait a 16. számú ábra szemlélteti:



15. ábra Légibázis légvédelmi oltalmazása



16. ábra Légibázis támadó eljárások

### Az együttműködés kérdései a kiképzés érdekében a MH 59 Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis és a MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred között [22]

A MH lehetőségei, illetve szűkös anyagi helyzete mindössze egy olyan hazai gyakorlatot enged meg, ahol elektronikai hadviselési körülmények közötti ténykedést lehet begyakoroltatni a repülőgép vezető állománnyal. Ez az évente megrendezett és NATO által jelentősen támogatott NEWFIP gyakorlat. A mai modern 4+ generációs repülőgépek elektronikai hadviselési rendszere könyvtárelven működik. A különböző információs csatornákon át beszerzett kisu-

gárhozó eszközök adatbázisából készített „FENYEGETÉS” könyvtár szolgál alapul ezen eszközök repülőgépen történő megjelenítésére, a besugárzásjelzőn. A megjelenített eszközök elleni önvédelmi tevékenység az „ELLENTÉVÉKENYSÉG” könyvtárban létrehozott programok alapján történik.

### A JAS-39 GRIPEN ELEKTRONIKAI HADVISELÉSI RENDSZERE [23]

A JAS-39 EBS HU repülőgépek a korábbi változatokhoz képest megnövelt túlélőképességet biztosítanak, a magyar igények szerint továbbfejlesztett önvédelmi elektronikai hadviselési képességekkel rendelkeznek. Az elektronikai hadviselési rendszer részei a 17. ábrán láthatóak:

„A gép elektronikai hadviselési rendszere a következő részekből áll:

- elektronikai hadviselési központi egység (számítógép) – Electronic Warfare Central Unit – EWCU;
  - radarbesugárzás jelző egység – Radar Warning Receiver – RWR;
  - beépített zavaró adó – Internal Jammer – IJ;
  - infracsapda / dipólszóró berendezés – Chaff / Flares Countermeasures Dispensers.”
- [23. p. 3.]



17. ábra A GRIPEN elektronikai hadviselési berendezései [23. p. 3.]

A Magyar Légierő csapatainak a NEWFIP gyakorlatokra két okból is szükségük van:

- egyrészt lehetőség nyílik nemcsak a saját repülőgépek, hanem más típusok elektronikai kisugárzó adatbázisának tesztelésére, továbbá a Gripen önvédelmét szolgáló elektronikai ellentévékenység programok működésének, hatékonyságának ellenőrzésére;
- másrészt a kiképzés során elsajátított harcászati eljárások és manőverek begyakorlására elektronikai hadviselés környezetben, illetve azok hatékonyságának tesztelésére, új eljárások begyakorlására.

A hajózó állománynak csak ezen a gyakorlaton áll módjában a MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred állományában lévő SA-6, illetve MISTRAL légvédelmi rakétakomplexumok adatbázisainak ellenőrzésére úgy, hogy a repülések után pontos visszajelzést kapnak nemcsak a kisugárzó eszközök különböző üzemmódjairól, így a meglévő fenyegetés könyvtár pontosságáról, hanem a repülőök önvédelmi rendszerei által végzett ellentévékenységi programok hatékonyságának mértékéről. Ez a Gripen alaprendeltetéséhez, azaz a sikeres háború megvívásához nélkülözhetetlen, hiszen ez jelentősen növeli a csökkentett létszámú és financiálisan alultámogatott Légierőnk túlélőképességét egy esetleges konfliktus során.





A másik, szintén fontos oka a MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis és MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred szoros együttműködésnek harcászati jellegű. Az alapvetően most már tisztán NFTC<sup>67</sup>-t végzett repülőgép vezetők az iskolán megszerzett taktikai eljárásokat egyrészt olyan repülőgépen hajtják végre, amely nem rendelkezik sem radarral, sem besugárzásjelzővel, másrészt az eljárásokon eléggé érződnek a brit harcászati elvek, amelyek még a saját oktatóik által is elavultnak vélt, s alkalmazhatóságuk, hatékonyságuk erősen vitatott a mai modern harcászati eljárásokban. Mindezeket leszámítva a saját típuson, a Gripenen is el kell sajátítani, adaptálni kell ezeket a képességeket és azt csak úgy lehet végrehajtani, ha a NEWFIP-hez hasonló gyakorlatokon rendelkezésre állnak légvédelmi rakétaeszközök. Az említett módszerhez hasonlóan lehetőség nyílik az alkalmazott harcászati eljárások hatékonyságának ellenőrzésére úgy, hogy akár a repülések alatt, vagy a repülések után pontos visszajelzést kaphatnak az alkalmazott eljárások hatékonyságáról. További fontos tényező a repülőgép vezetők ténykedésének begyakorlása elektronikai hadviselés viszonyok között. Ezen azt kell érteni, hogy egyrészt az adott pilóta megfelelően értelmezte-e a repülőgép besugárzásjelzőjén megjelölt információkat (célkövetés, rakétaindítás, stb.), másrészt megfelelően reagált-e a jelzett fenyegetésekre.

## ÖSSZEGZÉS

### *Tapasztalatok a légvédelmi rakéta szakmakultúra számára*

A légvédelmi rakéta szakkezelő állomány képzettségi színvonala valós célrepülőgépek nélkül nem, vagy csak nagyon nehezen mérhető fel. A korábbi évekhez viszonyítva egyre kevesebb repülési idő áll rendelkezésre. Ilyen körülmények között a katonák nehezen motiválhatók, fásultakká válnak, nem látják értelmét a monoton munkának.

Az elektronikai hadviselés – NEWFIP – gyakorlatok jelentős mértékben képesek hozzájárulni a szakkezelők képzettségi színvonalának emeléséhez. Az elektronikai zavarást végző, vagy a zavar fedezete alatt támadó, manővert végző repülőeszközök felderítése különösen nagy kihívás a kezelők részére. Csak ilyen módon – zavarás körülményei között – van lehetőségük megtapasztalni a különböző zavarfajták radarjaikra, híradó eszközeikre, munkájukra gyakorolt hatását, és megtanulni az ellenük való védekezés fogásait, fortélyait. Az elmúlt 40 év folyamán valós harctevékenység elektronikai zavarás, lefogás nélkül nem zajlott. A légvédelem kiiktatása, vagy elnyomása a korszerű harcban elengedhetetlen, a légvédelem feladata pedig, hogy ilyen körülmények között is oltalmazást biztosítson.

### *Tapasztalatok a hajózók számára*

Összesítve a fentebb említetteket elengedhetetlen, hogy a katonák a lehető legjobban felkészüljenek a rájuk váró feladatok végrehajtására, amelyeket csak gyakorlással lehet megfelelően elsajátítani, azok működését gyakorlatokon kiválóan le lehet tesztelni. Ebbe beletartoznak azok a komplex gyakorlatok, ahol egyrészt le lehet tesztelni a fegyverük, harcászati eszközük, a Gripen vadászrepülőgépek képességeit, annak működését, meglévő adatbázisok, ellentevékenység és fenyegetés könyvtárak pontosságát.

<sup>67</sup> NFTC – NATO Flying Training Program in Canada



Másrészt le lehet tesztelni magát az embert, repülőgép vezetőt is, hogy a kiképzés során milyen mértékben sajátította el a harcászati eljárásokat, mennyire tudja kihasználni repülőgépét, mint fegyvert. Mindezek azt a célt szolgálják, hogy a katona úgy hajthassa végre feladatát, hogy túlélőképessége a lehető legmagasabb szinten legyen úgy, hogy a rá bízott feladatokat maximálisan végrehajtotta.

## Közös célok és feladatok

A repülőbázis állományával történt tapasztalatcsere alapján kölcsönös előnyökkel jár a két alakulat szorosabb együttműködése az elektronikai harc kiképzés területén. A hajózók alaposabban megismerhetik a JAS-39 Gripen vadászrepülőgépek képességeit, a légvédelmi rakétások számára további gyakorlási lehetőség nyílik elektronikai hadviselési környezetben. A repülés előtti eligazításokon való részvétel elősegítette együttműködésünket a zavarást és a némacél feladatkört ellátó repülőeszközök személyzetével, pontosabb koordinációt biztosított. Így mindkét fél kölcsönösen előnyös együttműködésre törekszik és egymásban partnert lát.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BOZSÓKI Attila: A légvédelmi rakétacsapatok elektronikai hadviselési felkészítésének tapasztalatai a 2005. évi NATO gyakorlat alapján, Bolyai Szemle 2009./2., 105–130. o., [http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2009/2/08\\_bozsoki.pdf](http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2009/2/08_bozsoki.pdf) (2012.03.11.)
- [2] MH LEP 53/2005. számú parancsa
- [3] BOZSÓKI Attila: A légvédelmi rakétacsapatok elektronikai hadviselési felkészítésének tapasztalatai a 2006. évi nato gyakorlat alapján, Bolyai Szemle 2009./3., 115–134. o., [http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2009/3/08\\_Bozsokiattila.pdf](http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2009/3/08_Bozsokiattila.pdf) (2012.03.11.)
- [4] MH LEP PK 170/16/2006. számú levezetési terve
- [5] KÉZY Balázs: Jelentés a 2007. április hónapban végrehajtott EHV gyakorlatról, MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred, Nyt. szám: 402/12/2007.
- [6] MH ÖHP 108/2007. számú parancs
- [7] MH ÖHP 152/2007. számú parancs
- [8] MH ÖHP 3/14/2007/FELD. számú levezetési terve
- [9] MH 12. ALRE 402/4/2007. számú szervezési intézkedése
- [10] PAPP Tamás: Jelentés a 2008. március hónapban végrehajtott elektronikai hadviselési gyakorlat tapasztalatairól, MH 12 Arrabona Légvédelmi Rakétaezred, Nyt.szám: 369/22/2008.
- [11] MH ÖHP 10/2008. számú parancs
- [12] MH ÖHP 34/2008. számú parancs
- [13] MH ÖHP 52/2008. számú parancs
- [14] PAPP Tamás: NATINADS NEWFIP '08 HUN/SVN/ITA elektronikai hadviselés gyakorlat tapasztalatai a MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezrednél, Microsoft Power Point bemutató
- [15] BOZSÓKI Attila, PAPP Tamás: Jelentés a 2009. október hónapban végrehajtott elektronikai harc gyakorlat tapasztalatairól, MH 12 Arrabona Légvédelmi Rakétaezred, Nyt.szám: 199-60/2009.
- [16] MH ÖHP PK 343/2009. számú parancsa
- [17] MH 12. ALRE 238/2009. számú ezredparancs
- [18] BOZSÓKI Attila, PAPP Tamás: NEWFIP (NATINADS) 2009 magyar, szlovén, román többnemzeti elektronikai hadviselés gyakorlat tapasztalatok, Misrosoft Power Point bemutató
- [19] BOZSÓKI Attila, KÉZY Balázs: Jelentés a 2010. május-június hónapban végrehajtott elektronikai hadviselési gyakorlat tapasztalatairól, MH 12 Arrabona Légvédelmi Rakétaezred, Nyt.szám: 163-21/2010.
- [20] MH ÖHP PK 169/2010. számú parancsa
- [21] MH 12. ALRE 174/2010. számú ezredparancs
- [22] KÁDÁR „Kava” Sándor: Az együttműködés lehetőségei, kérdései és fontossága a MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis és a MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred között
- [23] KOVÁCS László: A JAS-39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei, [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) (2012.03.18.)



Daruka Norbert<sup>1</sup>

## TERRORISTÁK ÉS TAKTIKÁK, AVAGY VÉDEKEZZ, HA TUDSZ<sup>23</sup>

*A reptéri biztonságtechnika egyik legfontosabb és legérdekesebb kérdése a terroristák elleni védekezés technikai megvalósítása, illetve ezen eszközök különleges bevetéseken történő biztonságos alkalmazásának megteremtése. Napjaink egyik legnagyobb problémája a terrorizmus. A terrorizmus különböző megjelenési formái közül a robbantásos merényletek talán a legjelentősebbek. Szerencsére a robbantásos merényletek száma főképp a repülőterek vonatkozásában évről évre csökken, ez betudható a felderítő eszközök gyors és hatékony fejlődésének. Sajnos nem csak a felderítő eszközök fejlődnek, a terror szervezetek is képezik embereiket és folyamatosan dolgozzák ki azokat az eljárásokat, melyekkel kicselezhetik az alkalmazott biztonsági eszközöket.*

### **TERRORISTS AND TACTICS, OR DEFEND YOURSELF IF YOU CAN**

*One of the most important and most interesting questions of the airport security technology is the technical realisation of defending against terrorists, concerned for the safe application of these devices happening on special deployments of these creations. Nowadays terrorism is one of the largest problems. From among the different forms of appearance of terrorism the bomb attacks maybe the most considerable ones. Fortunately the number of bomb attacks decreases from a year to a year in the concern of the airports, and this can be attributed for the fast and efficient development of reconnaissance devices. Unfortunately not only these devices develop, the terror organisations train their people and develop the procedures with which the applied safety devices may be dodged are drawn up continuously.*

## BŰNÖS CÉLÚ/TERROR JELLEGŰ ROBBANTÁSOK

A történelmet kutatók több időszakra bontják a terror robbantások fejlődéstörténetét. Előttörténetként kezelik a háborúk kezdetétől a francia forradalomig terjedő időszakot, ahol az emberek közötti egyenlőtlenség volt a fő motiváló tényező. A robbantások történetében a következő szakasz már az első világháború kezdetéig datálható, ahol az állam és a társadalmi érdekek éles elkülönülése volt a cselekmények mozgató rugója. A sorban harmadik helyre került és a legszörnyűbb eseményeket öleli fel a világháborúk kora, még sem tekintik a terror robbantások szemszögéből kivételes időszaknak, mivel állami érdekek szembenállása volt a feszültség forrása. Az 1970-es évek elejéig a robbantásos cselekmények inkább csak értékre, tárgyra irányultak. Az ipari társadalmak a terroristák számára vonzó és sebezhető célpontokat teremtettek (repülőgépek, bankok, erőművek). Az 1980-as évektől, a modern terrorizmus korában a célpontok megváltoztak. Jelentős közéleti személyek, embercsoportok voltak a robbantásos elkövetők áldozatai, ezáltal nagyobb rémületet és szélesebb nyilvánosságot kapott az elkövető szervezet. Megjelent a bérterrorizmus, a robbantásos terrorcselekmények erőszakosabbak és

---

1 mk. főhadnagy, MH 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred, daruka.norbi@gmail.com

2 Lektorálta: Prof. Dr. Lukács László ny. mk. alezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Dr. Kovács Zoltán Tibor okl. mk. őrnagy, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem

3 TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

kegyetlenebbek lettek. A modernkori terrorizmus a technikai haladással lépést tartó és annak vívmányait kihasználva, egyre váratlanabb és pusztítóbb hatású akciókra képes. Az egész világot behálózó informatikai és híradó rendszerek segítségével már néhány másodperc alatt képesek a bűnös célú szervezetek pontos információkat szerezni a támadásra kijelölt személyekről és objektumokról. A korszerű repülőgépek segítségével órák alatt képesek megközelíteni a több ezer kilométer távolságban megjelölt célpontokat. Megjelentek az államok által támogatott és az államok által irányított terrorszervezetek is. Elegendő ennek kapcsán utalni a különböző arab, a palesztin, a líbiai, a szíriai és az iraki terrorszervezetekre. A korábban csak katonai célokra alkalmazott robbanóanyagok is elérhetőbbé váltak a civilek számára. Ezzel szinte egyidejűleg megjelentek a bombák házi előállítását leíró „szakácskönyvek”, szerelési útmutatók. Ezek könnyedén elérhetőek voltak eleinte Amerikában, de az internet térhódításával megszűntek a földrajzi határok. Az elkövetők eszköze, a védekezés módja és az új védekezési eljárás módok jelentősen megváltoztak. Napjainkban egyre elterjedtebb a házi készítésű robbanóeszköz használata. A terrorfenyegetés már nem csak néhány országot vagy bizonyos köröket érintő kérdés, hanem határozottan világjelenség. [1][2]

### **Nem hagyományos úton készített robbanóeszközök**

Az improvizált robbanóeszközök olyan rombolóhatású nem nagyüzemi módon előállított bombák, amelyek a romboló vagy halálos hatást egészségre ártalmas anyagokkal, pirotechnikai eszközökkel vagy gyújtóhatású vegyi anyagokkal érik el. Alkalmazásuk célja személyek vagy gépjárművek alkalmatlanná tétele a harci alkalmazásra. Magánszemélyek vagy terrorista szervezetek szponzorálásával működtetett internetes források segítségével akár hozzá nem értő, laikus személy, vagy egy alacsony képzettségű személy is képes egy egyszerű IED<sup>4</sup>-et előállítani. Maga a robbanóeszköz egyszerű: robbanótöltetből és gyújtószerkezetből áll. Formájukat, az alkalmazott gyújtási módokat, a robbanóerőt és robbanótöltetét illetően azonban már sokfélék lehetnek. [3]

Az IED töltete lehet akár a kereskedelemben beszerezhető anyagokból, de lehet katonai robbanóanyag is. Az improvizált robbanóeszközök elhelyezésüket tekintve is sokrétűek lehetnek. Megkülönböztetünk például járművekre telepített robbanóeszközöket, a robbanóanyag mennyiségét elméletben csak a jármű teherbírása korlátozza. Veszélyességét nagymértékben növeli, hogy a támadó a járművet a célponthoz közelre vagy magába a célpontba vezetheti, és ott aktivizálhatja. A robbanóeszköz elhelyezését tekintve más csoportba sorolható az egyéni öngyilkos merénylő, aki 5-10 kg robbanóanyagot vihet magával a testére erősítve vagy a hátizsákjában. A töltet közé a nagyobb repeszhatás elérése érdekében szögeket, kisebb fém tárgyakat, esetleg golyóscsapágy-golyókat tesznek. Az öngyilkos merénylőket általában követi egy második személy, aki az esetleges tévovázásra reagálva hozza működésbe a társa által hordozott szerkezetet. Az ilyen esetekben a robbanás kiváltása távirányítással történik. A hagyományosan telepített robbanószerkezetek hatásukat csak az adott helyen, illetve közvetlen környezetében fejtik ki. A robbanást maga a cél, például a jármű kerekének súlya, vagy általában távirányítással, a robbantást végző személy váltja ki. [4][5]

A modern kori terrorizmus legveszélyesebb eszközei már nem csak hadműveleti területeken

---

<sup>4</sup> Improvised Explosive Device - nem hagyományos eljárással előállított „házi készítésű” robbanó szerkezet

jelentenek fenyegetést, hanem az úgynevezett hétköznapi életben is. A legveszélyeztetettebb helyzetben a repülőgépek vannak, hiszen néhány dekányi robbanóanyag is képes olyan károkat okozni a repülőgépek fedélzetén, mely azonnal végzetes lehet.

*“Ha eltérítünk egy gépet, az sokkal hatásosabb, mintha megölünk 100 katonát egy csatában. Sokkal egyszerűbb megölni fegyvertelen, sebezhető civil utasokat, mint felfegyverzett és jól védett katonákat.”*<sup>5</sup>



1. ábra Öngyilkos merénylő öve<sup>6</sup>



2. ábra Öngyilkos merénylő mellénye<sup>7</sup>

Nem meglepő tehát, hogy a titkosszolgálatok felhívták a figyelmet a legújabb öngyilkos merénylők által alkalmazni hívbant eljárásra. Az öngyilkos merénylők már nem csak a testükre helyezik a bombát, hanem a testükbe is. Elsősorban a női öngyilkos merénylők a mellimplantátumokat használhatják fel robbantási célokra, amit a jelenlegi reptéri testszkenner nem képesek kiszűrni.

### **„BOMBA NŐ”- Mellimplantátum, mint robbanószerkezet**

Talán bizarrnak hangzik a mellimplantátumok kapcsán a robbantásos merényleteket előtérbe helyezni és valljuk be őszintén egy egészséges férfi biztosan nem a robbantásos cselekményekre asszociál az implantátumokkal kapcsolatban, de ezek az „eszközök” valódi fenyegetést jelentenek. Titkosszolgálati források szerint a radikális orvosok többnyire Európában sajátítják el a plasztikai sebészet alapjait, majd hazatérve elvégzik a végzetes sebészeti beavatkozásokat. Azonban nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy nem kell szélsőséges nézetekkel rendelkezni a plasztikai sebésznek, hiszen egyes implantátumok egyszerű sóoldattal vannak megtöltve, így elegendő a páciens gyógyulását követően egy egyszerű injekciós tű mellyel az oldatot eltávolítják, majd folyékony robbanóanyaggal helyettesítik. A legalkalmasabb folyékony robbanóanyag a PETN<sup>8</sup>, amit az implantátumba fecskendeznek bele, már kis mennyiségben is hatalmas pusztításra képes, pláne egy repülőgépen. Számítások szerint, már 141 gramm robbanóanyag is elég az említett folyadékból ahhoz, hogy egy utasszállító repülőgépet felrobbantson. A repülőtéri biztonsági szkennerrel gyakorlatilag képtelenség kimutatni a mell belsejébe rejtett robbanóanyagot. Helyes beültetés esetén az implantátumot a hagyományos repülőtéri testszkenner nem érzékeli, ehhez érzékeny röntgenvizsgálatra lenne szükség. Mivel a robbanóanyagot légmentesen lezárt műanyag tasakba teszik, a normál szkenner segítségével lehet-

<sup>5</sup> Forrás: [http://en.wikipedia.org/wiki/George\\_Habash](http://en.wikipedia.org/wiki/George_Habash); Letöltés: 2010.07.18.

<sup>6</sup> Forrás: <http://www.globalsecurity.org/military/intro/ied-belt.htm>; Letöltés: 2009.11.10.

<sup>7</sup> Forrás: <http://www.globalsecurity.org/military/intro/ied-vest.htm>; Letöltés: 2009.11.10.

<sup>8</sup> PETN - pentaeritrit-tetranitrát – C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>N<sub>4</sub>O<sub>12</sub>

len észlelni. Az eddig sem volt titkolt, hogy az öngyilkos merénylők nagy része mellénybe vagy övébe rejtette a felhasználni kívánt robbanóanyagot. Sikertelen merényletek tapasztalatai arra is rávilágítottak, hogy a terroristák felhasználták a női merénylők melltartóját, illetve egyéb „adottságait” a robbanóanyag elrejtésére. A most felfedezett módszer azért is veszélyes, mert az átvilágító kapuk az említett rejtési módok ellen, még védelmet nyújtott, de az implantátumoknál nem tudják kiszűrni a folyékony robbanóanyagot. [7] Joseph Farah terrorizmus-szakértő kutatásai szerint az Al-Kaida által toborzott öngyilkos merénylő nőknél már végeztek a mellnagyobbításhoz hasonló technikákat kívánó robbanóanyag-beültetést. [3]



3. ábra Mellimplantátum elméleti töltése idegen anyaggal<sup>9</sup>



4. ábra 280 cm<sup>3</sup> gél töltetű mellimplantátum beültetés előtt<sup>10</sup>

A plasztikai sebészek és biztonságtechnikai szakemberek állásfoglalása szerint az implantátumok valós veszélyt jelenthetnek, hiszen a mellen kívül más helyekre (fenék, vádli stb.) is behelyezhetőek, így nem csak a női terroristáktól kell tartani. Az új terrortaktika akkor került a nyilvánosság elé, amikor egy nigériai férfi az alsónadrágjában lévő robbanóanyaggal majdnem sikeres merényletet hajtott végre. A férfi az alsónadrágjába rejtette a PETN nevű veszélyes robbanóanyagot, 80 gramm fehér port. A robbanáshoz a port „be kell indítani”, ezért kellett neki egy injekciós tű, amibe tömény savat tett. A férfi azonban szerencsére elpuskázta a dolgot, ugyanis a PETN csak simán egyszerűen leég, ha az indító anyag nem ad neki sokkoló lökést.

Az implantátumokban ez az anyag folyékony formában kerül alkalmazásra és a beléptetések folyamán a tű és a sav biztosan feltűnne a beléptetés vagy átvizsgálás során. Azonban arra is gondolni kell, hogy elég némi rövidzárlat és az említett sokkoló lökés máris működésbe hozza a robbanószerkezetet.

### Mellimplantátumok

Az elmúlt 25 évben az implantátumokkal gazdálkodó szépségpiac széles rétegeket megmozgatva jelentős iparággá nőtte ki magát. A különböző testrészekben elhelyezhető szépségápolási cikkek közül mégis a mellimplantátumok területén nőtt meg a kereslet az elmúlt évtizedben. Nincs pontos adat arról, hogy hány nő (egyes esetekben férfi) rendelkezik ilyen típusú esztétikai kiegészítővel, de egyes felmérések szerint teljes Európát tekintve minden 50. nő rendelkezik ilyen típusú kiegészítővel. A mellimplantátumoknak két fő típusa ismert:

<sup>9</sup> Forrás: <http://szexplaza.com/2010/03/szilikonmellekkel-tamadhatnak-a-terroristak/>; Letöltés: 2012.03.03.

<sup>10</sup> Forrás: [http://vilagutazo.blog.hu/2010/03/29/mellimplantatum\\_uj\\_terror\\_taktika](http://vilagutazo.blog.hu/2010/03/29/mellimplantatum_uj_terror_taktika); Letöltés: 2012.03.07.

Gél (szilikon<sup>11</sup>) töltetű implantátumok: Minden géllal töltött implantátum kohezív<sup>12</sup> szilikon gélt tartalmaz. Ez azért fontos, mert az implantátumot akárhogy „formálhatjuk”, az mindig visszatér az eredeti alakjához. A kohezív gél másik előnye, hogy a gél egységes egészként viselkedik, így ha félbe vágjuk az implantátumot, akkor is egyben marad, nem folyik szét és nem válik el a falától. Ez azért fontos, mert a különböző röntgenberendezések és biztonságtechnikában alkalmazott átvilágítás elvén működő test szkennerek megállapíthatják, hogy az implantátum egy adott anyagból készült, vagy utólag került úgynevezett külső anyaggal feltöltve.

**Sóoldattal töltött implantátumok:** A sóoldattal töltött implantátumokat a műtét alatt töltik meg sóoldattal, ami hasonló a szervezetünkben is található folyadékhoz. Bár nem vallják be a nők esetében többnyire a méret a lényeg. Ezt alapul véve egyes implantátum típusoknál, amelyek utólag kivehető töltőcsővel vannak ellátva így lehetővé teszik, hogy a plasztikai sebész a műtét után akár fél éves időtartamig módosíthasson az implantátum méretén, sóoldat hozzáadásával vagy kivételével. Természetesen ezzel lehetőséget biztosítanak a folyékony robbanóanyaggal történő feltöltésre is fájdalom mentesen, persze az öngyilkos merénylet valószínűleg nem ez motiválja.



5. ábra Sóoldattal töltött és utántölthető implantátumok<sup>13</sup>

Az implantátumok különböző nagyságban léteznek 100-650 cm<sup>3</sup>-ig, illetve felette egyedi megrendelés alapján. Legnagyobb mennyiségben a 220-350 cm<sup>3</sup> nagyságú implantátumok kerültek beültetésre, de nem ritkák a gigantikus méretű protézisek sem. A nagyság kiválasztása nagyon személyes és egyénre szabott, méréssel valamint próbával lehet legjobban meghatározni. Nagymennyiségű robbanóanyag felhasználásánál feltűnő lehet akár külső szemrevételezésnél is az átlagosnál nagyobb mellméret. Az azonban nem megoldás, ha minden nagyobb mell terjedelemmel rendelkező embert terroristának titulálva bonyolult átvizsgálási effektusoknak vetnénk alá.

### Folyékony robbanóanyagok

A PETN **pentaeritrit-tetranitrát**, pentrit vagy nitropenta egy robbanó salétromsav észter, amelyet széles körben használnak az iparban és a hadászatban. Tiszta állapotban fehér, kristá-

<sup>11</sup> A szilikonok olyan polimer vegyületek, melyek szilíciumból, oxigénből és hidrogénből állnak. A szilikon folyékony, gél vagy szilárd halmazállapotú lehet. Számtalan alkalmazási területe létezik, beleértve a kozmetikai felhasználást, a bélgázok kezelését, és sok egyéb orvosi eszközt, úgymint a hajtogatható mű szemlencsék, a szívritmus szabályozók (pacemaker) és a szövettágítók.

<sup>12</sup> A kohezivitás az anyag sűrűségét, tömörségét, összetartását jelenti.

<sup>13</sup> Forrás: <http://mell-plasztika.com/nincs-kategorizalva/a-mellimplantatumok-fajtai/> Letöltés:2012.03.21.



lyos, viszonylag könnyen tárolható ugyanakkor ez az egyik legbrizánsabb használatban lévő robbanóanyag. Többnyire detonátorokban szekunder töltet, plasztifikált robbanószerekben (pl.: Semtex), kis kaliberű lőszerekben és robbantó zsinórokban alkalmazzák. Detonációsebessége 8400 m/s (1,7 g/cm<sup>3</sup> sűrűség esetén). Előállításuk két úton történhet pentaeritritből, vagy kénsavval észterezik és második lépésben salétromsavval átészterezik, vagy tömény salétromsav és tömény kénsav elegyével (nitrálsav) közvetlenül képzik a salétromsavésztert. A teljesen savmentesített végtermék stabil, de ha savnyomok maradnak benne, instabillá válik. Ez esetben bomlása robbanásig is fajulhat. Az öngyilkos merénylők többnyire ezt a tulajdonságát használják ki céljaik elérésére. [8]

A **nitroglicerín** az egyik legnagyobb hatásfokú és legnagyobb érzékenységgel rendelkező robbanóanyag. Előállításuk glicerintől történik salétromsav-kénsav eleggyel. Tiszta állapotban színtelen, szagtalan, nehezen megszilárduló, viszkózus folyadék, megfagyott állapotban ütészékenysége kisebb, dörzsérzékenysége nagyobb. Szilárd állapotban két módosulata ismert, az 1,73 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű módosulat labilis, az 1,60 g/cm<sup>3</sup> stabilis tulajdonságú. 1 kg nitroglicerintől 715 dm<sup>3</sup> gáz halmazállapotú égéstermék képződik. Szerves oldószerek közül sokban jól oldódik, valamennyire vízzel oldható. Önmagában is jó oldószer, a nitrovegyületeket jól oldja, ennek nagy szerepe van a többkomponensű robbanóanyagok előállításánál. Ütészékenysége miatt sokáig nem alkalmazták a gyakorlatban. Ütészékenységének csökkentésére számos kísérletet végeztek, így például megpróbálkoztak a feketelóporral keverten felhasználni, de átütő sikert csak akkor értek el, amikor először porózus anyagokkal felítatva később pedig nitrocellulózzal kocsonyásított formában mechanikai behatásokkal szemben érzéktelennítették.

Az **aceton-peroxid** egy szerves peroxid, elsődleges robbanószer. Jellegzetes szagú fehér kristályos por. Nagyon érzékeny hőre, súrlódásra és ütésre. Előállításakor esetleg bennmaradt savak katalizálhatják az elegyet. Ezen okoknál fogva tárolása még víz alatt is veszélyes. Nagy erejű robbanóanyag, de instabilitása miatt katonai és ipari területen nem alkalmazzák. Az alapanyagok hozzáférhetősége, a vegyület könnyű előállíthatása folytán és mivel nem mutatják a nitrogénre érzékeny detektorok igen kedvelt robbanóanyag a terroristák körében. Valamint az interneten könnyen megtalálható a receptje. Ezek a receptek terjedésükkel folyamatosan mutálódnak. Veszélyességét tovább fokozza az alapanyagok egyszerű beszerezhetősége.

## A LÉGI KÖZLEKEDÉS BIZTONSÁGÁNAK KÖVETELMÉNYEI

A légi közlekedés védelmére irányuló közös alapkövetelményeket Brüsszelben, 2010. április 9-én módosították, s a módosító rendelet teljes egészében kötelező és közvetlenül alkalmazandó valamennyi tagállamban. Az átvizsgálás, a belépés-ellenőrzés és egyéb védelmi ellenőrzések, továbbá a tiltott tárgyak, a különleges védelmi eljárások és a védelmi ellenőrzés alóli mentesség terén történtek változások, a biztonság fokozásának érdekében. Az Európai Unió belüli légi közlekedésben egységes védelmi szint valósult meg és ily módon meg lehet védeni az utazóközönséget a jogellenes cselekményektől. Az uniós jogszabályok értelmében elsősorban az egyszeri védelmi ellenőrzés alkalmazása kerül előtérbe, ezért, indokolt az átvizsgálási módszereket, köztük a folyadékok, aeroszolok és gélek ellenőrzésének módszereit úgy harmonizálni, hogy az uniós polgárok továbbra is élvezhessék az egységes légiközlekedési előnyeit. [6]





A folyékony robbanóanyagok által jelentett fenyegetés valós és általános. Az új rendelet azzal szünteti meg e védelmi hiányosságot, hogy korlátozást vezet be az utasok által az átvilágítási pontokon átvihető és a légi járművek fedélzetére vihető folyadékokkal kapcsolatban. Az új rendelet értelmében az utasok sem személyes holmijuk részeként, sem pedig kézipoggyászukban nem vihetnek magukkal folyadékokat az átvilágítási pontokon túl. Ezt a szabályt az Európai Unió repülőtereiről induló összes járat esetében alkalmazni kell, tekintet nélkül a célállomásra és a légi fuvarozó nemzetiségére annak érdekében. A rendeletben foglalt szabályok csak a kézipoggyászra vonatkoznak, mivel a poggyásztéri csomaghoz a bejelentkezés után nem férnek hozzá az utasok. Az új szabályok minden folyadékra vonatkoznak, hiszen a ma rendelkezésre álló átvilágító berendezések a különböző típusú folyadékokat nem tudják olyan gyorsasággal megkülönböztetni, amely lehetővé tenné repülőtéri alkalmazásukat. Az utasok azonban továbbra is magukkal vihetnek az átvilágítási pontokon túl olyan kis mennyiségű folyadékot, amely veszélyes robbanóanyag előállításához nem elegendő. Tehát kis mennyiségben továbbra is vihetnek magukkal toaletszereket és parfümöt a kézipoggyászukban. Az új rendelet ezen kívül kivételt tesz az utazás alatt szükséges gyógyszerek és élelmiszerek esetében, beleértve a bébiételt is. Az utasok ezeket továbbra is magukkal vihetik a kézipoggyászukban.

Az előzetes tervek szerint idén áprilisban enyhítették volna a repülőutazások alkalmával a fedélzetre felvihető folyadékokra vonatkozó korlátozásokat, amelynek értelmében legfeljebb 100 milliliteres kiszerezésben, legfeljebb 1 liternyi folyadékot lehet a kézipoggyászba tenni. A korlátozás részleges feloldásának célja az lett volna, hogy a harmadik országok repterein található vámmentes üzletekben vásárolt italokat ne vegyék el az EU területén átszálló utasoktól. Az Európai Bizottság szerint 2013-ban fel lehet oldani a korlátozást, addigra ugyanis várhatóan rendelkezésre állnak a reptereken a folyadékok átvizsgálásához szükséges berendezések. A folyadékokra vonatkozó korlátozást 2006-ban, egy megghiúsított terrortámadás után vezették be, miután egy Londonból az Egyesült Államokba és Kanadába tartó repülőgépeken folyadékokból próbáltak terroristák robbanóanyagot elegyíteni. A folyadékokon kívül a krémek, zselék, dezodorok, de például a lágú sajtok és a lekvár is tiltólistára került.

## **Folyadékszkennerek**

Az amerikai belbiztonsági hivatal<sup>14</sup> munkatársai az USA-ban elsőként, az Új-Mexikó államban található Albuquerque International Sunport repülőtéren tesztelik azt a folyékony anyagok ellenőrzésére szolgáló szkennert, melyet a Los Alamos Nemzeti Kutatóintézet laboratóriumában fejlesztettek ki. A közepes méretű berendezés képes kimutatni a palackozott vizekben, pezsgőkben, samponokban vagy akár a folyékony hashajtó gyógyszerekben elrejtett robbanóanyagokat is. A mágneses rezonanciára épülő készülék akkor is hatékonyan működik, ha a vizsgált anyagokat fém konténerben tartják, és 15 másodpercen belül egy piros, vagy egy zöld lámpa felvillantásával jelzi az eredményt, attól függően, hogy érzékel-e veszélyes anyagot. Ez az eszköz jelentheti a megoldást az implantátumokba rejtett robbanóanyagok kimutatásának területén. A szkennerek biztonságos működését követően a kézipoggyászban a fedélzetre vihető folyadékokra vonatkozó mennyiségi korlátozások is megváltozhatnak. Természetesen

---

<sup>14</sup> DHS - Department of Homeland Security

sen erre csak akkor kerülhet sor, ha már minden repülőtéren rendelkeznek a folyadék alapú robbanóanyagok kiszűrésére szolgáló biztonsági berendezésekkel.

### **Kombinált biztonsági ellenőrző berendezés**

A Nemzetközi Légiforgalmi Szövetség a múlt évben mutatta be új, kombinált repülőtéri szkennert, ami 5 mp alatt elvileg mindent leellenőriz. Az új biztonsági berendezés egy hétméter hosszú alagút, amely kombinálja a jelenleg létező összes biztonsági ellenőrző berendezés funkcióit. Az utasok az alagúton, közben minden szempontból átvilágítják őket. Az új átvizsgáló berendezés magában foglalja a testszkennert, a folyadékérzékelőt, a fémdetektort, a robbanóanyag-érzékelőt és automatikusan ellenőrzi a lábbeliket is. Az új rendszer alkalmazásával három kategóriába sorolnák az utasokat, akiket íriszfelismerő technológia segítségével azonosítanak, mielőtt áthaladnának a három, egymás mellett elhelyezkedő alagút valamelyikén.



6. ábra Kombinált repülőtéri szkennert<sup>15</sup>

A már korábban azonosított utazók, a könnyített átvizsgálást alkalmazó átvizsgáló kapun haladhat majd keresztül, az ő esetükben csak röntgenátvilágítás, fém- és folyadékérzékelést végeznek. Az általános utazóközönség esetében cipőátvilágítást is végeznek, majd át kell haladniuk a robbanóanyag-érzékelő detektoron is. Azok az utasok, akik magatartása aggodalomra ad okot, vagy a biztonsági személyzet figyelmét felkeltik, egy olyan alagúton kell átsétálniuk, ahol teljes testszkennert is alkalmaznak majd. Az eszköztől azt várják, hogy a légi terrorizmus az eszközök által biztosított repülőtereken teljes mértékben kiküszöbölhetővé válik. [9]

A testletapogató radarok tekintetében már értek el a biztonságtechnikai szakemberek jelentős fejlődést és megoldást is jelenthetne az emberi testen vagy testben csempészett robbanóanyagok felderítésére. A problémát az jelenti, hogy a testletapogató radar használata önkéntes, így csak az megy át rajta, aki akar, mivel alapvető emberi jogokra hivatkozva, a privát szféra megsértésénél fogva kéri az átvizsgálás elhagyását. Az Európai Unió és az Európa Parlament azonban még mindig nem tudta eldönteni, hogy e radarok behatolnak-e a privát szférába, vagy egyszerűen szükséges biztonsági berendezések. Ha az előzőekben ismertetett nigériai férfi is aláveti magát a rádióhullámok általi átvilágításnak, akkor biztosan felfedezték volna az elrejtett robbanóanyagot és a fecskendőt is és még a felszállás előtt nyilvánvalóvá vált volna robbantási szándéka. Elképzelni is szörnyű mi történt volna, ha sikerül az elképzelése.

<sup>15</sup> Forrás: <http://www.parameter.sk/rovat/technika-tudomany/2011/06/06/szupergyorsan-atvilagit-az-uj-repteri-szkennert>; Letöltés: 2012.03.20.



„Ott tartunk, hogy a nagyra becsült európai polgár választhat: elmegy-e a „vetkőztető berendezés” előtt, s megkockáztatja, hogy akár a nemi szervét is „meglátják” – vagy csak a fémdektoros kaput választja, hogy ne sérüljenek az alapvető emberi jogai.

*E jogok viszont rögvest megszűnnek, ha a 80 gramm PETN hatalmas lyukat vág a repülőgép burkába, s az utasok előtt minden elsötétül...”<sup>16</sup>*

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DARUKA Norbert: Technické aspekty výbuchov pri asymetrickej bojuvej činnosti, Trhacia Technika 2011, Slovak Republik, Kongresové centrum ACADEMIA Stará Lesná 26.-27. mája 2011, (ISBN 978-80-970265-3-0) 201-208.o.
- [2] Dr. RESPERGER István: A terrorizmus és az asszimetrikus hadviselés jellemzői a jelen kori műveletekben, Honvédségi Szemle 2009. május 63. évfolyam 3. szám, 24-29.o.
- [3] Dr. LUKÁCS László: A terrorcselekmények megelőzésének korszerű eszközei, különös tekintettel a robbantásos fenyegetésekre, 7. Nemzetközi Robbantástechnikai Kollokvium, Budapest, 1997. november 4-7. (megjelent a konferencia kiadványában)
- [4] Dr. MÜLLER Othmár: Korszerű szükséganyagból készített robbanószerkezetek alkalmazásának és hatástalanításának sajátosságai, a jövőbeni fejlesztés irányai a terrorizmus figyelembevételével –kandidátusi disszertáció, Budapest, ZMNE, 1995. 73.o.
- [5] Dr. MÜLLER Othmár – LUKÁCS László: Házilag készítésű robbantó szerkezetek – jegyzet = Országos Rendőr Főkapitányság Országos Kiképző Központ, Budapest, 1994
- [6] DARUKA Norbert: Robotok a repülőtéri biztonságért, Repüléstudományi Konferencia 2011, Szolnok Véget ért a MiG-korszak, Repüléstudományi Közlemények külön szám 2011 április 15., (megjelent a Repüléstudományi Közlemények On-line folyóirat 2011/2. számában). 17.o.
- [7] <http://www.mon.hu/hirek/Bulvar/cikk/mellet-robbant-a-noi-terrorista/cn/news-20100327-01344468>
- [8] <http://detonatorhun.hostzi.com/PETN.html>
- [9] <http://www.euvonal.hu/index.php?op=hirek&id=7038>

---

<sup>16</sup> Forrás: A. Fodor György, <http://www.szabadjfold.hu/aktualis/valasszon>, Letöltés: 2012.03.17.



Domján Károly<sup>1</sup>

## A MI-24D, V, P SZÁLLÍTÓ- HARCHELIKOPTEREK INTERAKTÍV KÉZIKÖNYVÉNEK BEMUTATÁSA ÉS KÜLFÖLDI ELADHATÓSÁGÁNAK LEHETŐSÉGEI<sup>2</sup>

*A Magyar Légierőnél rendszeresített Mi-24 D, V, P többcélú szállító harci helikopterekről, a multimédia segítségével elkészített interaktív kézikönyv elkészítése kezdődött meg. A papíralapú dokumentáció kiváltására, digitális formában elkészített információs adatbázis kerül kialakításra. A multimédia segítségével egy újfajta felhasználói segédlet került kifejlesztésre, mely vizuális megjelenítési képessége folytán könnyebbé teszi az információk elsajátítását, vagy a már megszerzett tudás felfrissítését. Az interaktív kézikönyv több szintű menürendszerrel lett kialakítva, így minden szakág folyamatosan fejlesztheti, illetve bővítheti az információs adatbázist. A szoftver tartalmazza a típus alaprendelgetését és felhasználásának lehetőségeit, mindezeket fotó és videó anyagokkal kiegészítve.*

### **PRESENTATION OF THE INTERACTIVE HANDBOOK OF THE MI-24D, V, P COMBAT HELICOPTER, AND POSSIBLE SALE FOR ABROAD**

*We just have started the developing process of a new interactive handbook for Mi-24 D, V and P multirole transport and combat helicopters used by the Hungarian Air Force. This handbook is supported by means of multimedia. For taking out printed documentation we are developing a digital database. A new style user guide has been worked out with the help of multimedia which makes learning easier or helps to refresh our knowledge by its visualizer capability. This interactive handbook is built up with a multi-level operator surface which helps all sections to improve it and enlarge its database. The software contains all basic data of the helicopter such as its functions and facilities. All these are supported by several photos and videos.*

## A SZOFTVER ÁLTAL BIZTOSÍTOTT LEHETŐSÉGEK

### **A Szoftver eladhatósága**

Az eddigi konferenciákon már számtalanszor esett szó a NEOBOOK szoftverről. Az előadásokban azokra a lehetőségekre szeretnék kitérni, melyeket beépíthetünk az Interaktív anyagokba, melyekhez a program rugalmassága lehetőséget biztosít. Ezen opcióknak köszönhetően, a megfelelően jól kialakított keretrendszer szinte bármikor bővíthetővé, vagy egyéb igények szerint fejleszthetővé teszi a multimédiás anyagokat.

Az Interaktív Kézikönyvvel elért eredmények az intézményi és az országos Tudományos Diákköri Konferenciákon megszerzett első és második helyezések. Azonban a befektetett munkaritkán kifizetődő. Számtalan munka, találmány és fejlesztés állt már le a finanszírozás hiánya miatt. Az általam elkészített Interaktív Kézikönyv olyan módosítások alatt áll, melyek talán átsegítik a már- már megszokottá vált pénzhiányon.

A szoftver párhuzamosan készül angol nyelven is, melytől a Nemzetközi szinten történő értékesíthetőséget várom. A szoftver fejlesztését és készítését nem kívánom eladni, de külföldi megren-

<sup>1</sup> MH Légi Vezetési és Irányítási Központ, charlie\_bluesky@hotmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési László ny. mk. ezds., főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

delések esetén a munka azonnal finanszírozhatóvá válik. Arról már nem is beszélve, hogy itthon éppúgy használhatóvá válik a program, mint külföldön. Az eladhatóság érdekében a Honvédelmi tárca segítségére is számíthat, hiszen később ők hasonlóan jól profitálhatnak a munkából.

## A kezdő menürendszer

A szoftver 2.0-ás verziója egy újabb logikai struktúra alapján lett kialakítva. Ez a kialakítás nemcsak megkönnyíti a kezelést, de figyelembe véve a program méretét, a lassabb számítógépeken való futtatást is lehetővé teszi. Mivel a Mi-24-es típusokat a mai napig több országban alkalmazásban állnak, a szoftver sikeressége esetén, az érdeklődést nemzetközi szinten is felkeltheti. Ennek segítésére a kézikönyv magyar és angol nyelven egyaránt elkészíthető. A nyelvek közötti választás lehetősége már az elő felületen elérhető. A nyelvek közötti navigációt Flash animációval készített két kis Brit illetve Magyar nemzeti színű lobogó teszi lehetővé. A munkafelület tartalmaz egy bemutatkozás menüpontot is, melyen keresztül megtudhatunk minden fontosabb információt a NEOBOO szoftverről és a kézikönyv főszerplőjéről, vagyis a Mi-24 típusairól. A menüpontban olvasható a köszöntő nyilvánítás is a szoftver készítőinek illetve a kézikönyv összeállítását segítő konzulenseknek. Az általános bemutatást követően a helikopter rendeltetéséhez navigálhatunk.



1. ábra A kezdő kezelőfelület

A kezelőfelületen jól láthatóan vannak elhelyezve az akciógombok, melyek mindegyike külön leválasztott, önmagában is külön egységként kezelhető szoftverek. Méretüknek köszönhetően fontos, hogy külön-külön töltődjenek be, így jobban kihasználva a hardver erőforrásait. Szükség esetén a hivatkozások úgy is kialakíthatóak, hogy minden egyes főbb témakör külön adathordozóról nyíljon meg.

Ezek az akciógombok:

- Galéria;
- Videó menü;
- Interaktív kézikönyv;
- Súgó.

Ahhoz, hogy tisztán lássuk a szoftver méreteit, adattartalmát és azt, hogy miről is szól a kézikönyv, ismerkedjünk meg magával a Mi-24-es típusokkal.

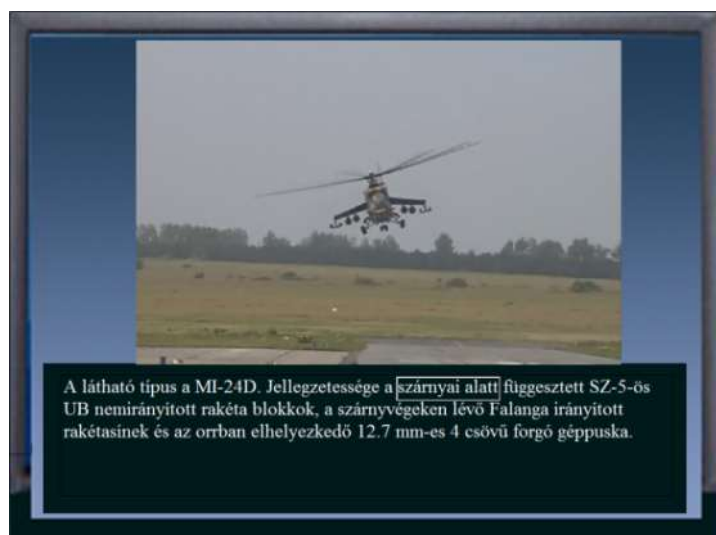
## A videó menü

Ebben a menüben a videók lejátszása egy változatos videó kamerás és vetítőképernyős grafikai elemmel lett színesebbé téve. A kamera kinyitott tévéképernyőjén láthatjuk a Mi-24D, V illetve P típusok bélyegképeit.



2. ábra A videó menü főpanelja

Ezek bármelyikére kattintva a tévéképernyő kinagyítva jelenik meg és automatikusan megkezdődik rajta a videó lejátszás. A vetítés egyik sajátossága, hogy a különféle típusokra jellemző vonásokat közvetlenül olvashatjuk a kisfilm alatt.



3. ábra A kiválasztott típus videójának vetítése

A videók alatti szövegmezőkben kijelölt szövegrészeket láthatunk, melyek mindegyike egy-egy hiperhivatkozás. Azok számára, akik a típust nem ismerik a hiperhivatkozás segítségével

nyújt a különbségek könnyebb felismerhetőségében. Egy kimerevített kép jelenik meg és ezen vörös körök kijelölik a típus jellegzetességeit.



4. ábra A jellegzetességek kijelölése

A helikopterekről bejátszott videó anyag mindegyike hasonló tartalommal bír, így ezeken jól láthatóvá válnak a típus egyes jellegzetességei. A Mi-24D típus egyik ismertető eleme a fegyverfelfüggesztő szárnyak alatti függesztmények. Az Sz-5-ös nem irányított rakétablokk és a Falanga irányított rakéta indítósinjei igen jellegzetesek és könnyen felismerhetővé teszik a D változatot.

A Mi-24V-re jellemző, hogy a D típussal ellentétben a szárny alatti nem irányított rakétablokkjai sokkal nagyobbak, hiszen az Sz-8-as nem irányított rakétáknak ad helyet. A szárnyak végén sem látunk indító síneket, mivel a típus a modernebb gyártmányú STURM irányított rakétát képes hordozni. Mindkét típus azonban ugyanazt a 12,7 mm-es géppuskát használja.

A harmadik vetítévászonon a Mi-24P látható, mely első ránézésre szinte teljesen a Mi-24V-re hasonlít, de jobban megfigyelve láthatjuk, hogy a gépről hiányzik az orrába épített négycsövű géppuska, ehelyett a gép oldalára felfüggesztett kétcsövű 30 mm-es gépágyút láthatjuk.

Ezeket a vetítéseket bármikor leállíthatjuk az egér jobb oldali gombjának lenyomásával. A három vetítési mód mellett egy „Extra” feliratú gomb is megjelenik. A menü egy vetítévásznas oldalra lép át, melynek szélén két fület láthatunk. Ezekre kattintva egy-egy vetítévászon kúszik be elénk, melyben a már jól ismert 117-es oldalszámú Mi-24D, ismertebb nevén „Csőrike”, műrepülését és az Afganisztánban szolgáló „Air Mentor Team” kisfilmjét láthatjuk. Ezek a videók hanganyaggal vannak bővítve és egy komplett műrepülő programot mutat be. A film lejátszása bármikor leállítható az egér jobb gombjának lenyomásával a vetítévászon fölére.



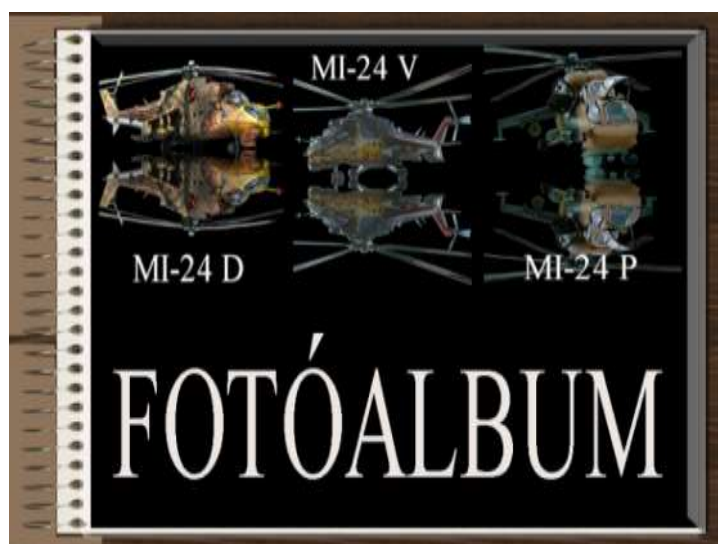
5. ábra A kisfilmek menüje

A menüben az angyal szintén megtalálható így a vetítéssel kapcsolatos bármilyen nehézség esetén segítséget nyújt számunkra. A menüből visszatérhetünk a kezdő panelre.

A VIDEÓ menüből tehát a fő táblára léphetünk vissza, mely az interaktív kézikönyv széleskörű szolgáltatásait tárja elénk.

### A Galéria menü

A Mi-24 helikopter típusok sokoldalúságát rengeteg fotó, animáció is bizonyítja. Ezeket, a képeket nézegetve akár szakmai szemmel, akár laikusán hasznos időtöltést nyújt a menü. Úgy lett kialakítva, hogy nemcsak látványos, de hasznos és kezelhető is legyen. A felhasznált grafikai elemek kifejezetten egy fotóalbum benyomását keltik.



6. ábra A fotóalbum

Az album kinyitása után újabb interaktív menürendszer fogad bennünket. Ennek segítségével kiválaszthatjuk a fotók megtekintésének módját. Az automatikus vetítés funkcióban a fotók egy hangaláfestéses videó fájlban játszódnak le. A manuális módban a galéria összes fotóelemét egyenként megtekinthetjük.



Az automatikus módot egy filmvetítő ikon mutatja, és az alatta lévő menüben a megtekinthető fotóvideók mindegyike kis bélyegképben, mozgó file-ként jelenik meg. Ezen videók elindításához csak a megfelelő bélyegképre kell rányomni. A vetítések bezárása minden esetben az albumon jelölt bezárás gombbal történik.

A manuális módot egymás alá kiterített fényképekből álló ikon mutatja. Alatta ugyancsak bélyegképek találhatók, de ezek mindegyike egy-egy fotócsoportot takar. Ezek elindítása esetén minden fotót kézzel kell előre vagy hátra léptetni. A menü bezárása után a szoftver automatikusan a kezdőpanelra lép vissza.

### **Az Interaktív kézikönyv**

Az interaktív kézikönyv megjelenésében, egy valódi könyv használatának benyomását kelti. Teljes felépítése ennek megfelelő. Kihasználva a programok által nyújtott rugalmasságot, rengeteg interaktív kiegészítő, illetve egy komoly sugó rendszer is segíti a munkánkat. A modern grafikának köszönhetően olyan flash animációkkal tehetjük színesebbé kézikönyvünket, mely az ismeretanyag elsajátítását változatossá teszi számunkra.

A könyv grafikai megjelenítése alapvetően egy kódexhez hasonlít, de már kezdő oldala is flash animációval van ellátva. A kódexre kattintva annak fedőlapja kinyílik és máris lapozhatunk az információs adatbázisban. A program használatát nagymértékben megkönnyíti egy olyan segítség mely szinte minden oldalról az adott menünek megfelelő információkat tartalmazza a számunkra. Ezt a segítséget egy kis „angyal” ikon tartalmazza. Rákattintása esetén egy könyv nyílik meg, mely tartalmazza az adott oldal vagy menü, kezelési útmutatóját. A benne lévő hangszóróikon azt biztosítja, hogy mindezeket a segítségeket hangos alámondás útján is megszerezhesük.



7. ábra Az interaktív kézikönyv

Lépünk be az interaktív kézikönyvbe, és tekintsük át milyen lehetőségeket biztosít.

Az első oldal több választási lehetőséget kínál fel számunkra, amelyen a „Típus rendeltetése” feliratú hivatkozást láthatjuk. A második oldalon pedig két további választás lehetséges. Az egyik menü a „VIDEÓ” menü, mely a Mi-24-es többcélú helikopter D, V, és P modifikációiról készült rövid videók megtekintését teszi lehetővé. A másik választási lehetőség a „FŐMENŰ”. Innen közvetlenül az információs menüt hívhatjuk be. Mivel a kézikönyv ki-

használhatósága szinte határtalan, a menürendszer eleve úgy lett kialakítva, hogy a későbbiekben is bármilyen szakág bővíthesse saját ismeretanyagával. A könyv oldalai el vannak látva „Lapozás előre és Lapozás hátra” hivatkozásokkal. Ezek segítségével oldalról oldalra is haladhatunk, előre illetve vissza. A menük kereszt-hivatkozásokat tartalmaznak, így azok közvetlenül a kívánt oldalra visznek bennünket.

A „Típus rendeltetése” menüpontban egy rövid összefoglalást olvashatunk a helikopter történetéről. A rendeltetés ezért tartalmaz olyan mondatokat, mellyel már korábban találkozhattunk.



8. ábra Az interaktív kézikönyv főoldala

## Menürendszer

A kézikönyv menürendszerének logikai felépítése a következő. Minden szakág az üzembentartók oldaláról illetve a teljes hajózó állomány, az üzemeltetők részéről használhatja a kézikönyvet. A menürendszerben való böngészést az interaktív jelleg teszi könnyebbé.

A következő menüpontokat találhatjuk a szoftverben



9. ábra A főmenü első oldala



10. ábra A Főmenü második oldala

Az interaktív kézikönyv fastruktúrája:

- Főpanel
  - Galéria
    - Videó galéria
    - Kézi fotóalbum
  - Interaktív kézikönyv
    - Tartalomjegyzék
      - 3D menü
      - Fülkeismeret
      - Sárkányszerkezet
      - Légi üzemeltetés
      - Fedélzeti rendszerek:
        - Fegyverrendszer
        - EMO rendszerek
        - Rádió rendszerek
      - Elmélet
        - Sárkánykódex
        - Aerodinamika
        - Hajtóműelmélet
  - Videó menü
  - Sógó
  - Bemutatózás, a helikopter rendeltetése

### Menü a menüben

A szoftver 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 verziójához képest, a 2.0 nemcsak egy 3D-s virtuális teret jelenít meg, hanem külön menürendszerként is működtethető. Folyamatosan navigálhatunk az almenük között, de szimplán térbeli áttekintésként is alkalmazható a helikopterről.

## 3D Menü

Ez a menüpont az interaktív menü talán leglátványosabb része. Kialakítása igen szépen kidolgozott, grafikai elemek sokaságát tartalmazza. Az Adobe flash segítségével a 3D menü saját belső hivatkozásrendszerrel működik. A kifelé hivatkozások láthatatlan gombokkal vannak megoldva. A menübe belépve a helikoptert egy interaktív 3 dimenziós tükrös szobában láthatjuk meg. Külön grafikai elem, hogy a helikopternek a tükörképe is meg van jelenítve. A képernyő jobb alsó sarkában egy Mi-24-es helikopter sziluett látható, körülötte az irányvezérlő gombokkal. Ez a kialakítás abból a megfontolásból készült el, hogy a 3 dimenzióban forgatott gép irányait mindenki könnyebben kezelhesse. Külön látványelem, hogy a sziluett körül elhelyezkedő iránybillentyűk egy távirányítóról származnak. Az oldalon nyilak mutatják mindenki számára, hogy a gép terei és fülkéi nyithatóak.



11. ábra A 3Dmenü

A 3D menü egyszerre épül a Sárkány szerkezetre és a fülkeismeretre egyaránt. Azáltal, hogy bejuthatunk a terekbe, lehetőség nyílik arra, hogy akár a fülkébe ülve barangoljunk, akár sárkány szerkezetet boncolgathassuk, vagy a hajtóműtől a fegyverrendszerig minden szakág menüje megnyílhasson a számunkra. Ez természetesen azt jelenti, hogy a 3D menü mostani formája sem végleges, hiszen újabb és újabb részek kidolgozásával bővül a kézikönyv.

### Néhány kép a 3D-s menüről

#### *Operátorfülke*

A vezérlő panel közepén egy 3D feliratú gombot láthatunk, melyre rákattintva a kézikönyv a helikoptert automatikusan körbeforgatja. Az operátor fülke kabintetejére kattintva D menü az kinyílik, és ha újabb kattintással a fülkére kattintunk áttérünk a belső nézetre.



12. ábra Az operátorfülke kinyitása



13. ábra Az operátorfülke

Ebben a nézetben szintén különféle gombokat találhatunk, melyek segítségével visszatérhetünk a 3D nézetre, vagy automatikusan körbenézhetünk az operátor fülkében. Ezt a nézetet szintén a 3D feliratú gomb biztosítja. A gép bármely panelére kattintva a fülke közeli panelnézete kerül elénk, mely jobb felső sarkában jobb és bal irányú iránybillentyűket találunk. Ezek lenyomásával képkockánként léptethetjük a fülkenézetet, jobbra és balra egyaránt. Az egeret a kapcsolókra vagy a műszerekre irányítva szakmai jellegű információkat jeleníthetünk meg.

### *Deszant tér*

Térjünk vissza a virtuális szobába, melyben a helikoptert tovább fordítjuk. Az oldalnézetekben jó rálátásunk van a deszant tér ajtókra, így azok ebben a nézetben válnak nyithatóvá. A kinyitás után bele kell kattintanunk a deszant térbe és a nézet máris a belső nézetre vált.

A belső nézetben szintén megtalálhatjuk a 3D feliratú gombot, és annak lenyomásával a deszant teret is automatikusan bebarangolhatjuk. A nézet a nyitott ajtóból indul, majd a kúszófolyosóban ér véget. A tekintet balra lefelé irányul, így biztosítva a rálátást a kormányvezérlő rudazatokra.



14. ábra Az operátorfülke

### *Helikoptervezető fülke*

Ismételten térjünk vissza a virtuális szobába és forgassuk be a helikoptert a számunkra fontos nézetbe. Nyíl mutatja mindenki számára, hogy a pilótafülke ajtaja melyik nézetből nyitható. Ha rákattintunk a helikoptervezető fülke ajtajára, az kinyílik és betekintést valamint szabad belépést tesz lehetővé a fülkébe.



15. ábra A helikoptervezető fülke kinyitása

Beülve egy térbeli képet látunk az adott munkahelyről. Természetesen a 3D feliratú gombot itt is megtalálhatjuk, melyre kattintva a szoftver megmutatja nekünk a helikoptervezető fülkét. Ha bármelyik panelre rákattintunk akkor a kiválasztott panel 3D-s képét láthatjuk. A jobb felső sarokban szintén megtalálhatjuk a jobb és bal irányú iránybillentyűket. A billentyűk lenyomásával képkockánként léphetünk jobbra és balra. Mivel a helikoptervezető fülke igen összetett, ergonómiailag bonyolultan elrendezett panelekkel van ellátva, plusz nézetek beimportálására is szükség volt. Így például jobb oldalra tekintve az energiapult egy részét láthatjuk, azonban ha rákattintunk az energiapultra, az teljes nézetében jelenik meg előttünk.

Az interaktív kézikönyv egyik nagy jelentősége, hogy nemcsak a karok, kapcsolók, műszerek, kontroll-lámpák nevét mutatja, hanem azok bővebb leírását is. A jobb grafikai megjelenítés érdekében a helikopterben használt borítások és panelek színével egy kis panel készült, melyen olvasható a műszerek, kapcsolók, lámpák megnevezése. A panel jobb alsó sarkán a további információ felirat látható. Ez a hivatkozás lehetőséget nyújt arra, hogy a bővebb információt is megjeleníthessük.

Első látásra egy érdekes anomália jelenhet meg a hozzáértők számára, hiszen a fő panelen egy olyan műszert láthatunk, amely valójában a nálunk rendszeresített 24-es típusokban még nem található meg. A DISz-15 térképindikátor helyett egy kijelzőt láthatunk, melynek oka, hogy a 3D-s nézetet egy szimulátor program segítségével lehetett kialakítani. Ez a program a Microsoft Flight Simulator X. Ehhez készítettük el a Mi-24P helikopter típust. A szoftver nem volt képes imitálni a DISz-15 működését, így modernizált orosz gépekből vettük ki a display-t és illesztettük be a DISz-15 helyére. Ennek köszönhető, hogy ezt a kis monitort láthatjuk a 3D-s fülkében. A bővebb információkat későbbiekben ebben a kijelzőben tekinthetjük meg.



16. ábra A helikoptervezető fülke

### **Műszerismeret**

Kezdjük a barangolást az energiapultnál. A bal felső kapcsolóra kattintva megjelenik számkra egy kis panel, és ezen panelen a „jobb és bal akkumulátor kapcsolók” felirat. A több információra kattintva a már említett display jelenik meg, benne a kapcsolók és az akkumulátorok funkciójának teljes leírásával. A kijelzőben kinagyított képet láthatunk a kapcsolókról, mely alapján láthatjuk, hogy néznek ezek ki a valóságban.

Ugyanezen a panelen megtalálhatjuk a fedélzeti rendszerek ellátásához szükséges összes főbb kapcsolót. Az eddig készített fülkeismereti munkákkal szemben ez a változat annyiban tud többet, hogy az adott kapcsolók géprendszereire történő kihatását is teljesen leírja. Ez alapján mind a műszaki, mind a hajózó állomány számára könnyebb eligazodás válik lehetővé a helikopter fülkéiben. Az információ mindenki számára megköpöthet, ezért nem árt ha rövid tájékoztatást kapunk arról, hogy az általunk elindított folyamat milyen kihatással lesz a repülésre.

Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a légkondicionáló rendszer esetében nemcsak arra tértem ki, hogy hogyan kapcsolható be, hanem arra is, hogy mi történik működése során. A jégtelenítő rendszert tekintve olyan információk közlését tettem láthatóvá, melyet a műszaki állomány kivételével nem sokan tudnak. Ez azonban nem jelenti azt, hogy mások számára kevésbé fontos lenne. Tudnunk kell, hogy a jégtelenítő rendszer adója Ittrium 90 és Stroncium 90 izotópokból van összehengerelve. Radioaktív sugárzása a felületén 10 mRtg/óra. A radioaktív részecskék sugárzása segíti a személyzetet abban, hogy időben észrevegye a jegesedési körülményeket. A repülésbiztonság szempontjából ez igen fontos információ.

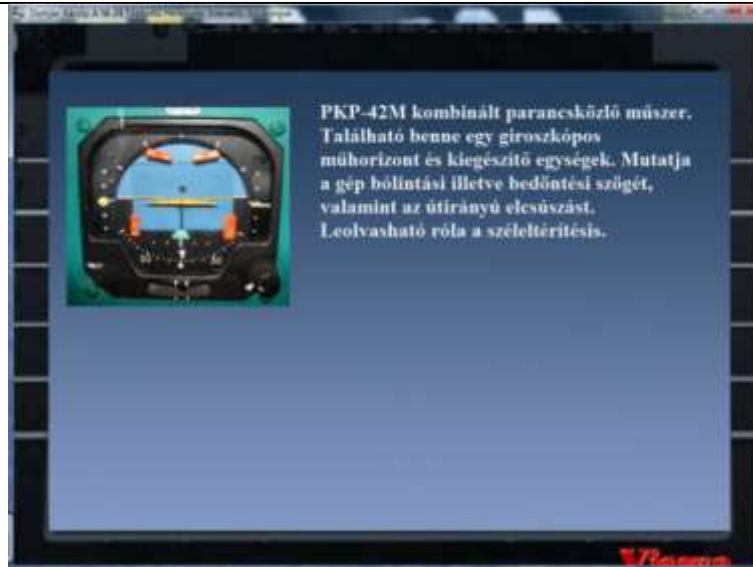
Ha tovább haladunk a fülkében a mellső illetve a főpanelen, műszerek sokaságát pillanthatjuk meg. Minden műszer adata úgy lett rögzítve, hogy ne csak a műszer nevét, hanem annak rendeltetését is láthassuk. Az üzemanyagrendszert tekintve olyan többletinformációk lettek beírva a szoftverbe, mely elmagyarázza a gép üzemanyagtartályainak elhelyezkedését, kapacitását és az üzemanyag továbbítását a hajtóművekhez. Ugyanide tartozik, de másik panelen található a szivattyúk, áteresztő csapok kapcsolói, viszont kihatásuk az üzemanyag rendszerre közös. Előfordult problémaként egy régebben megtörtént repülés végrehajtása közben, hogy elfelejtett a személyzet áteresztő csapokat kapcsolni, és egy két órás repülési feladat végrehajtását kezdte meg 750 l üzemanyaggal. Ennek következménye, hogy az áteresztő csapok zárt helyzetben történő hagyásakor az ECN szivattyúk a 4-es és az 5-ös üzemanyagtartályból nem képesek a tüzelőanyag felszivattyúzására, így a hajtóművek csak a kifogyasztó tartályban lévő 750 l üzemanyagból gazdálkodhatnak. Ez alapvetően soknak tűnhet, de nem felejtjük el, hogy a gép TV3-117 hajtóművei percenként 16l üzemanyagot fogyasztanak. Szintén fontos információ a hajtómű indításának folyamata. Nem elég csak nyomnunk a gombot, azt is ismernünk kell, hogy milyen folyamatok mennek végbe a gép rendszerében.

A dolgozatomba már nem fér bele, de a teljes interaktív kézikönyv tartalmazni fogja a karok mozgatásának lehetőségét. Ez kibővül majd egy funkcionális leírással, melyből megtudhatjuk, hogy ezek a kormányszervek milyen módon hatnak ki a kormányfelületekre. Helikoptereket tekintve ez különösen fontos, mert vezérlése a repülőgépekével szemben nagyságrendekkel bonyolultabb.



17. ábra A helikoptervezető fülke műszerfal, a PKP-42 műszer információs paneljével

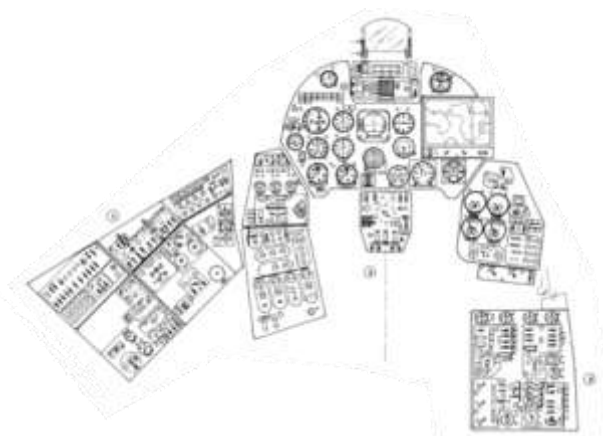




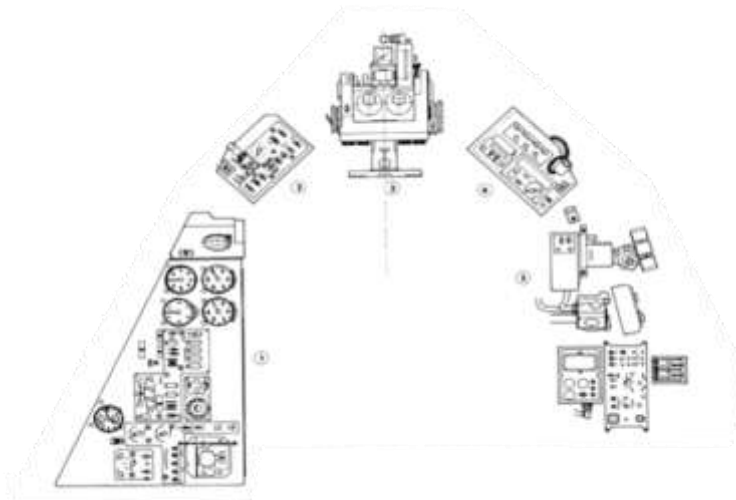
18. ábra A bővített információt megjelenítő display

### Fülkeismeret

A menüpont ugyanoda hivatkozik mint a 3D menü, annyi különbséggel, hogy itt nem 3 dimenziós paneleket láthatunk, hanem a gép fülkéjében készített fotókat. Mivel a karok, kapcsolók, műszerek, kontroll-lámpák ugyanott helyezkednek el és ugyanazok mint a 3D-s fülkében, így csak megjelenítésbeli különbséget tapasztalunk. Az előző menühöz képest a paneleket egy vezérlő felületről tudjuk kiválasztani, ahol a műszerfal egyes elemei kiterítve vannak feltüntetve. Rákattintva az adott panel előtűnik és böngészhetünk rajta a műszerek, kapcsolók között. A jobb és bal iránybillentyűk a jobb felső sarokban ugyanúgy megtalálhatók és a panelek eredeti elhelyezkedésével hasonlóan behozhatóak. A két menü hasonló felépítése miatt kereszthivatkozások vannak elhelyezve a fő oldalakon. A 3D fülkében egy fényképezőgép ikon hozza be a fotótextúrákat, a fülkeismeret menüben pedig a 3D feliratú nyomógomb biztosít átjárást a 3D-s fülkébe. Adattartalomban ez a menüpont sem tartalmaz kevesebb információt mint az előző menüpont.



19. ábra A bővített információt megjelenítő display



20. ábra A bővített információt megjelenítő display

A fotótextúrákkal ellátott menüben a bal felső sarokban három betű jelenik meg: D, V, P. A három gomb közül mindig csak kettő aktív, így azok piros színűek és az a modifikáció amelynek paneljét éppen látjuk annak betűje szürke. Ebből könnyen megkülönböztethetjük a három típus változatot. Alapvetően a D és a V típusok között nagyobb a különbség a helikoptertervezető fülkét tekintve, a V és a P közötti különbség elenyésző. Az operátor fülkével már más a helyzet, ott ugyanis az eltérő fegyverrendszer miatt mindhárom típus különböző. A 3D menüben látható operátor fülke a Mi-24P változaté. Mivel a 3D-s megjelenítéshez segítséget nyújtó szimulátor csak a P verziót tartalmazza, a másik kettő különbségeit egyenlőre csak fényképeken tekinthetjük meg. Mindkét menü operátor fülkéjében aktívvá lett téve a rakéta rávezető optika, ennek használhatóságát egy nyíl mutatja.

### Sárcányszerkezet

A fülkeismeret menühöz hasonlóan a sárcányszerkezet is egy egyedül álló menü. Feldolgozása igen nagy anyagterjedelmet foglal magában, ugyanis a Mi-24 D, V és a P modifikációk teljes technológiai utasítását tartalmazza. Az interaktivitás jobb kihasználása érdekében az eredetileg kiadott műszaki és kiszolgálási szakutasítások részekre lettek bontva, és ezen részek külön grafikai elemekkel lettek kiegészítve.

A sárcányszerkezet menüpont alá több módon is eljuthatunk. Az egyik a már jól ismert 3D menü, a másik a könyv külön pontjaként megjelenített sárcányszerkezet menüpont. Abban az esetben ha a sárcányszerkezet anyagrészt bezárjuk, a kézikönyv a főmenüig tér vissza.

A helikopter szerkezetét bemutató menü egy homogén kék átmenetű virtuális térrel nyílik meg, melyben három típust látunk fotóminőségben a tükörképeikkel maguk alatt. A három szimbólum közül kettő mindig elhalványított és kisebb a többinél, míg egy halványítás nélkül nagyméretben a kép jobb oldalán jelenik meg. A jobb alsó sarokban két darab kétirányú nyíl és egy vissza nyíl látható. A jobbra-balra léptetéskor a virtuális térben a három típus körkörösén cserélődik, így jelezve kiválaszthatóságukat. Köztük lévő váltást minden esetben hangeffekt is jelzi.



21. ábra A sárkány szerkezet menü főablója

Belépés esetén a kiválasztott helikoptert teljes méretben láthatjuk. A vizuális megjelenítés összhangja érdekében ugyanaz a kép tárul elénk, ami a virtuális térben is látható volt. Ezen az oldalon azonban egy új kezelő panel is megjelenik. Ezen a panelen látható egy hang ki- és bekapcsoló gomb, egy technológiai kézikönyv ikon, az angyalka mint a segítségnyújtás szimbóluma, egy rádióaktív jel, mely számunkra a röntgen rajzokat szimbolizálja, egy villáskulcs ikon, ami a robbantott ábrákhoz vezet és a vissza nyomó gomb. A belépést követően azonnal megszólal a háttérzene, mely a hang gombjaival bármikor ki- illetve bekapcsolható.



22. ábra A Mi-24 D típusváltozat a virtuális térben, megjelenítve a sárkány szerkezeti egységeivel

Ha a kurzort a gép sárkányára visszük, minden főbb szerkezeti egység fölött láthatjuk a szerkezeti egység megnevezését. Ez mindhárom típusnál azonos felosztást jelent. Így láthatjuk az orr-részt, a törzs-középrészt, a forgószárnyat, a felszárnyat, a faroktartót és a végtartót. A fel- és leszálló berendezések itt még nincsenek külön szedve, az az aktuális sárkányszerkezeti elem alatt található. Ebben az esetben a gép bármely szerkezeti egységére rákattintunk, az egységre jellemző technológiai leírást (gördítő szövegben) illetve a hozzá tartozó fotókat láthatjuk. A fotók mindegyike kinagyítható, így az aktuális elemek, berendezések jobban felfedezhetők.



23. ábra Az orr- rész megjelenítése fotókkal és szerkezeti leírása

A nagyított kép a kis képre kattintva nyílik meg. Bezárása esetén a kép bármely részére kattintva újra az előző oldal jelenik meg.



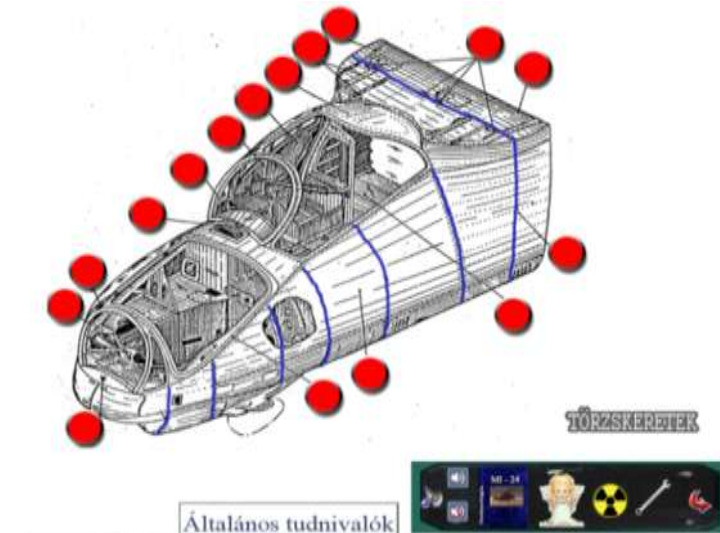
24. ábra Az orr- rész kinagyított képe

Akár innen, akár a főmenüből nyomunk rá a radioaktív ikonra az adott szerkezeti egység röntgen rajzát látjuk. A típus főpaneljéről az egész sárkány jelenik meg szerkezeti rajz formájában.



25. ábra A sárkány röntgen rajza

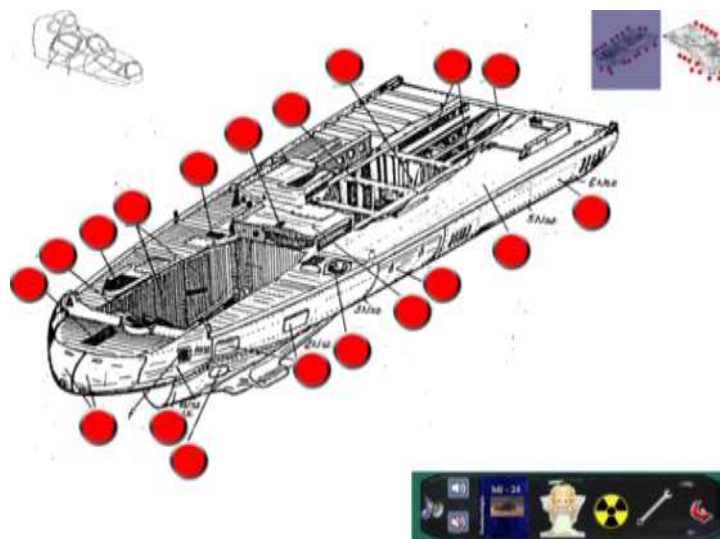
Ebben az esetben ha ide navigáltuk magunkat, tovább már csak a villáskulcs ikon lenyomásával juthatunk, ekkor viszont a helikoptert elemeire bontva láthatjuk. Bármelyik egységre rámutatunk a kurzorral egy kis buborékban az adott egység neve megjelenik. Kettőt rákattintva, a szerkezeti egység nagyított röntgen rajzát hozza be a program. Az általános tudnivalók felirat alatt a technológiából kivett, az egységre jellemző leírást találjuk.



26. ábra Az orr- rész röntgenrajza

Külön felrakhatóak a rajzra a törzskeretek és ezek bármikor le is vehetők. Az egység elemeire külön nyilak mutatnak rá, melyek végein egy-egy nyomógomb található. Ezeket megnyomva a technológiából kivett erre az elemre jellemző leírást, információ található.

Sok esetben, mint például az orr-résznél a villáskulccsal tovább, bonthatjuk a sárkány elemét. Így juthatunk el például a padlólemezek szerkezeti rajzaihoz. Ezen egység részei is nyilakkal vannak megjelölve.



27. ábra Az orr- rész padlópanelje a külön részek hivatkozásaival

Szükséges megemlíteni, hogy a kép jobb illetve bal felső sarkaiba további navigáló ikonokat kellett elhelyezni, melyek jobban elősegítik, hogy a sok röntgen rajz között sikeresen navigál-



---

hassunk. Behívhatjuk vissza a törzs, orr-részt ahol külön nyilak mutatnak rá például a helikoptervezető ajtajára. Így olyan mélységekig juthatunk el, hogy akár a legutolsó munkahenger szerkezeti rajzát is láthatjuk.

A sárkányszerkezeten belül ezek röviden a navigálás lehetőségei. Azonban ahogy az már a vezérlő panelen is látszik, a technológia ikonja mindvégig előttünk van. Ha erre az ikonra kattintunk a szakutasítás egy könyv formájában, becsúszik, majd kinyílik.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Re/804 Mi-24D Helikopter műszaki leírása I-II. Könyv, Honvédelmi Minisztérium 1979.
- [2] Wikipédia Mi-24, <http://hu.wikipedia.org/wiki/Mi%E2%80%9324> (2009.05.)
- [3] Tudományos diákköri dolgozat (Domján Károly) Mi-24 D, V, P többcélú szállító harci helikopter interaktív kézikönyve, ZMNE BJKMK Repülő és Légvédelmi Intézet Sárkány-hajtómű Tanszék 2011.

Fekete Csaba Zoltán<sup>1</sup> – Dr. Palik Mátyás<sup>2</sup>

## A HAZAI UAV KEZELŐ SZEMÉLYZET KÉPZÉSÉNEK TAPASZTALATAI<sup>3</sup>

*Köztudott, hogy a Magyar Honvédség 2008-ban az izraeli Elbit Systems cég által gyártott Skylark 1-LE típusú pilóta nélküli légi járműveket (UAV) szerzett be. Az új rendszer az Afganisztánban szolgáló erők számára biztosít új képességet a légi felderítés terén. Az eszköz megfelelő használatához kiképzett kezelő szakemberek szükségesek, akik az eszközök kezelését, valamint a felderítési és megfigyelési feladatokat is végrehajtják. A kezelők képzése tanfolyami rendszerben történik. A szerzők a cikkben a felkészítés alapismereti modulját mutatják be, mely téma szorosan kapcsolódik az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat, „Adatintegráció” alprogramjának, „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” kiemelt kutatási terület egyik – a szakszemélyzet képesítése (szakszolgálati engedély) – vizsgálandó területéhez.*

### **THE EXPERIENCE OF THE HUNGARIAN UAV OPERATORS COURSE**

*It is common sense that in 2008 the Hungarian Defence Forces had obtained some Skylark 1-LE unmanned aerial vehicle manufactured by the Israeli Elbit Systems. The new system provides new capability of air reconnaissance for the troops serving in Afghanistan. There is essential to have well trained operators who run the system in proper way, and are able to carry out the reconnaissance and observation missions. The operators' training is realized in frame of a military training course. The authors introduce the basic module of the course which is in close connection to the New Szechenyi Plan's „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 “Critical infrastructure defense research”, „Data integration project”, “Air safety aspects of employment unmanned aerial vehicles” accentuated research area- to investigate on staff qualification( operator licensing).*

## A TANFOLYAM ELŐKÉSZÍTÉSE

### **A tanfolyam szervezésének célja**

A cikkben NATO-ban egységesen elfogadott Unmanned Aerial Vehicle (UAV) kifejezés, a „pilóta nélküli légi jármű” fogalma alatt a későbbiekben az alábbiakat kell érteni: „Egyszer- vagy többször felhasználható, vezető nélküli, meghajtott légi jármű, mely repüléséhez aerodinamikai erőket használ. Távirányítással, programozott önirányítással, illetve kombinált irányítással működhet, képes halálos- vagy nem halálos teher hordozására. [1]

A cikkben a kisméretű pilóta nélküli repülőeszköz – (SUAV - Small Unmanned Aerial Vehicle) kezelőinek képzéséről lesz szó. 2010 előtt a Magyar Honvédség fegyverzetében nem szerepelt ilyen eszköz, így a kezelők képzése új feladatként jelent meg a Honvédelmi Minisztérium Hadműveleti és Kiképzési Főosztályán.

<sup>1</sup> szds, gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, fekete.csaba@uni-nke.hu

<sup>2</sup> alez., tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt szds, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottany.zsolt@uni-nke.hu

## A tanfolyamok képzési követelménye

Minden újonnan hadrendbe kerülő rendszer esetében kiemelt fontosságú feladat a kezelőszemélyzet kiképzése, oktatása. Nem volt ez másképp a SKYLARK I-LE SUAV esetében sem. A rendszer képességeinek teljes körű kihasználása és az oktatás egységesítése céljából a Honvédelmi Minisztérium Hadműveleti és Kiképzési Főosztálya 2010 májusában egyértelmű követelményrendszer állított fel a SKYLARK I-LE pilóta nélküli felderítő repülőgép kezelők szakmai képzési követelményeivel kapcsolatban.



1. ábra SKYLARK I-LE típusú SUAV indítása<sup>4</sup>

Ez a dokumentum szabályozta a képzés formáját, célját, tananyagát, tanmenetét és a képzésben résztvevő alakulatokat, szervezeteket. [1]

A képzés megnevezése: SKYLARK I-LE típusú kezelők alapképzése. A képzés központi szervezésű, nappali rendszerű, katonai - szakmai továbbképzés, amelynek célja a szakmai ismeret-kiegészítő felkészítés, az évente beiskolázható 10 fő részére. Képzési célként a megrendelő a kis hatótávolságú pilóta nélküli légi jármű kezelővel szemben támasztott katonai-szakmai képzettséget, elméleti felkészültséget, illetve gyakorlati tapasztalat megszerzését írta elő. A tanfolyamot elvégzett katonának képesnek kell lennie az elsajátított elméleti ismereteit a gyakorlatban alkalmazni az SKYLARK I-LE SUAV eszköz légi és földi üzemeltetésére, előkészítésre, irányítására repülés közben, a kapott feladatok pontos végrehajtására és a felmerülő hibákra történő helyes tevékenységre.

### Szakmai követelmények

A kezelő személyzet számára meghatározott követelmények nagy feladat elé állították a beiskolázott állományt, hiszen eddigi tanulmányaitól teljesen eltérő tudásanyag elsajátítását kellett végrehajtaniuk. A követelmények között szerepelt az UAV rendszer ismerete, a NATO-ban alkalmazott kifejezések és rövidítések elsajátítása.

<sup>4</sup> [www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/repulok/szazadszor\\_az\\_afganisztani\\_legterben/skylark2.jpg](http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/repulok/szazadszor_az_afganisztani_legterben/skylark2.jpg)



A tanfolyamot elvégzett hallgatóknak ismerni kell a repülés elveit, a merevszárnyú repülőgépek repülésméleti alapjait. A felhasználás jellegéből adódóan meteorológia témakörök elsajátítása is követelmény, mint például a kis- és földközeli magasságon való repülés esetén felépő időjárási jelenségek repülésre veszélyes tulajdonságainak ismerete és azok kezelésének módjai, lehetőségei.

A bevetés tervezéséhez, a nemzetközi erőkkel való együttműködéshez elengedhetetlen a hazai és NATO térképek használata, az állami repülések szabályainak és a navigációs eljárások ismerete, a repülésben használatos mértékegységek felhasználása. A biztonságos üzemeltetés, repülésbiztonsági ismeretek elsajátítása szintén elvárásként jelent meg a hallgatókkal szemben. Mindezeket túl az SKYLARK I-LE rendszer átfogó ismerete pedig alapvető ismeretanyag.

### A képzési program kidolgozása

A képzési program kidolgozásáért felelős szervezetként az akkori Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Repülő és Légvédelmi Intézet, Repülésirányító és Repülő-hajózó tanszéke került megnevezésre.

Ezen szervezet feladata lett a képesítési követelmények alapján elkészíteni a képzési programot, meghatározni a tantárgyak tartalmát, azok óraszámait és a vizsgáztatás módszerét. A képzési követelményeket a HM Hadműveleti és Kiképzési Főosztály, főosztály vezetője hagyta jóvá. [1]

A képzési program 420 kontaktórából áll, mely alapvetően négy fő modulból áll:

I. modul: Alapismeretek	II. modul: Típusismeret	III. modul: Gyakorlati képzés		IV. modul: Vizsga
1-4. hét	5-10. hét	11-19. hét		20-21. hét
120 tanóra	84 tanóra	180 tanóra		36 tanóra
ZMNE szolnoki bázisa	MH 5. Boeszkai István Lövészdandár debreceni bázisa	MH 5. Boeszkai István Lövészdandár hajdúhadházi bázisa		
Elméleti felkészítés	Elméleti felkészítés	Szimulátor gyakorlás	Gyakorló repültetés	Elméleti és gyakorlati vizsga

1. táblázat A SUAV képzés fő moduljai<sup>5</sup>

A moduloknál megtalálható órakeret biztosítja mindazon szakmai követelmények teljesülését, melyeket a megrendelő előírt.

<sup>5</sup> Készítették a szerzők RLI/25-20/2010 Nyt. sz. képzési program alapján

## A TANFOLYAM MEGSZERVEZÉSE

A négy modul közül az első Szolnokon, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvéd Tisztképző Kar, Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszékén került végrehajtásra. A tanfolyam résztvevői 96 óra elmélet és 26 óra gyakorlati foglalkozáson vesznek részt, melyek főbb témaköreit a 2. számú táblázat tartalmazza. A tanfolyam végrehajtása a nappali, BSC képzés vizsgaidőszakára került tervezésre, hiszen az oktatók „*rendelkezésre állása*” csak ebben az időszokban volt biztosítható. Az oktatást közel 80%-ban a Repülésirányító és Repülő-hajózó szakcsoport állományából kerültek ki, de néhány speciális szakterület oktatására az egyetem más szakcsoportjainak oktatói nyújtottak nagy segítséget, mint például a térképészet, vagy elektronikai hadviselés témaköreiben. Az órarend elkészítésénél külön figyelmet kellett fordítani a „*meghívott oktatók*” saját, a budapesti kampuszon végrehajtott feladataira, ám a jó partneri viszony megkönnyítette az órarend összeállítását, amiért ez úton is szeretnék köszönetet mondani.

### Alapismereti modul

A modul négy hétben, 120 tanóraban kerül levezetésre.

Modul	Tantárgy	Óraszámok	
		Elmélet	Gyakorlat
Alapismeretek	Bevezetés	2	
	Aerodinamika	10	
	Repülés meteorológia	8	
	Térképészeti ismeretek	12	6
	Repülési szabályok és eljárások	8	
	Légi tájékozódás és navigáció	4	6
	Légtér szervezés és légiforgalmi ismeretek	3	
	Légi műveletek (ATO, SAR)	2	
	Repülő-egészségügyi ismeretek	2	
	Repülésbiztonsági ismeretek	6	
	Haditechnikai ismeretek	4	
	Légi jogi ismeretek	4	
	Légi felderítés alapelvei, követelményei	4	
	Légi felderítés igénylésének rendje	4	
	Légi felderítő jelentések összeállításának és továbbításának rendje	5	5
	Légi felvételek elemzése és értékelése	6	5
	Elektronikai hadviselés alapismeretek	4	
	Rádióforgalmazási ismeretek	4	4
Alapismereti vizsga (teszt)	2		
<b>Összesen:</b>		<b>94</b>	<b>26</b>

2. táblázat Az alapismereti modul tantárgyai és óraszámjai<sup>6</sup>

Rokon témakörnek tekinthető a térképészeti ismeretek és a légi navigáció, hiszen a repülések

<sup>6</sup> Az RLI/25-20/2010 Nyt. sz. képzési program alapján

tervezése és végrehajtása közben alapvetően különféle térképeket használunk. Magas óraszámokban kerül oktatásra a légi felderítés és légi felvételek értékelésének témaköre is, hiszen ez az eszköz alaprendeltetéséből adódó feladat. A fent említett tárgykörök mellett mindazonáltal szükséges alapvető légi jogi, légtér szervezési és repülési szabályok oktatása is, mivel a személyzet nélküli légijárművek üzemeltetésére nemzetközi és hazai szabályok is vonatkoznak, melyek polgári és katonai szabályozókban öltönek testet.[1][2]

Az első 8 kezelők az MH 5. Bocskai István Lövészdandár, 24. Bornemissza Gergely Felderítő Zászlóalj állományából kerültek ki. Ők a rendszer átvételekor már részt vettek az izraeli Elbit gyár szakemberei által tartott 2x2 hetes tréningen, melynek keretén belül megismertették a kezelőkkel a SUAV alapvető rendszereit, technikai jellemzőit, illetve a rendszer kezelését. A második két hétben az oktatók kiképzését hajtották végre az izraeli cég oktatói. Ezen időtartam alatt sajátították el a leendő oktatók az eszköz gyakorlati oktatásának alapjait, kiképzés közben az oktatók által vétett hibák gyors, szakszerű javítását.

A fent említett 8 fő képezte a magyarországi gyakorlati oktatók állományát. Mindamellett, hogy a SUAV kezelésére képesek voltak, nem rendelkeztek alapvető repülési, meteorológiai és jogi ismeretekkel, melyek ismerete szintén szükséges a rendszer üzemeltetéséhez, a kiképzés teljes körű biztosításához. A külföldön rendszerismereti tanfolyamon résztvevő állomány hazai kezelői képzése szintén e tanfolyam keretein belül történt.

### Típusismereti modul

Ez a modul 6 hét alatt, összesen 84 tanórán belül kerül levezetésre Debrecenben, az MH 5. Bocskai István Lövészdandár alárendeltségébe tartozó MH 24. Bornemissza Gergely Felderítő Zászlóalj állományának gyakorlati SUAV oktatók felügyelete mellett történik. Az oktatók a képzésnek ebben az időszakában már alapvetően kitérnek az UAV rendszer képességeire, a rendszer logikájára, a részegységekre, az üzemeltetői szoftver felépítésére.



2. ábra SKYLARK I-LE típusú SUAV néhány részegysége<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Rátonyi Krisztián, UAV oktató: Oktatási segédlet a Skylark 1-LE Systemhez

A tananyagot képezi az eszköz karbantartási és ellenőrzési eljárásainak ismerete, térképek konvertálása, és firmware frissítési feladok végrehajtása a fedélzeti és földi rendszerek számítógépein.

### Gyakorlati képzés modul

A harmadik modul alapvetően az első kettő modulban tanultak kombinációja, hiszen ez a gyakorlati modul. A képzés első kettő hetében, 60 tanórán az eszközhöz tartozó úgynevezett „mission trainer” szimulátoron kerülnek feladatok végrehajtásra, úgynevezett „száraz” repülések. Ezek során gyakorolják az eszköz levegőben történő irányítását, a kamerák lehetőségeinek kihasználását és egyáltalán a feladat végrehajtás adaptációját az eszköz szoftverére, azaz az útvonal felprogramozását.



3. ábra A szimulációt biztosító kezelő konzol és annak főképernyője

Ezek után pedig a hallgatók megismerkednek az indítási folyamat elemeivel, a helyes indítási sorrend végrehajtásával. A következő feladat ezen ismeretek elsajátítása során az UAV indítási folyamat gyakorló géppel, azaz végre mindenki megtapasztalhatja milyen bonyolult feladat a viszonylag kis méretű eszköz helyes indítási sorrendet betartó „kilövése”. Innen már egyenes út vezet a gyakorlati oktatók által felügyelt repülési feladatok végrehajtásához, melyet a hallgatók végeznek a tervezéstől a kiértékelésig.

A szimuláció után valós repülések irányítását a rendszer valamennyi elemének valós kezelésével hajtják végre az oktatásban részt vevők. Ez a modul 4 hétben, mindösszesen 120 órában kerül végrehajtásra.

A gyakorlati képzés utolsó fázisában már csak vészhelyzet esetén lépnek közbe az oktatók, repülés közbeni segítség és hibajavítás nincs, csak a teljes feladat végrehajtás után.

### A vizsgáztatás és az értékelés módja

A vizsgáztatás a három oktatási modul során több lépésben kerül végrehajtásra és értékelésre. Az alapismereti modul tartalmaz 1x90 perces vizsgát, mely gyakorlatilag egy teszt kitöltését jelenti. A teszt 112 kérdésből áll, és súlyozottan térképészeti és légi felderítéssel kapcsolatos kérdéseket tartalmaz a tanfolyam anyagának átfogó kérdésrendszere mellett. A feladatlapban feleletalkotós, felelet kiegészítéses, felelt választásos kérdések, és komplex feladat formájában kell a tananyag elsajátításáról meggyőződni. A követelmény az, hogy a vizsgázó személy

minimum 61%-ot érjen el. Az órák látogatása legalább 75%-ban kötelező, ettől eltérni csak írásos engedély és betegség esetén lehetséges.

A típusismereti modul végén 3x45 perces írásbeli vizsga kerül végrehajtásra melynek során a tanfolyamon részt vettek ugyancsak kombinált felépítésű feladatlapot töltenek ki. A kérdések a típus ismeret adott témakörei során leadott tananyagból kerülnek kiválasztásra. A feladatlapokban feleletalkotós, felelet kiegészítéses és felelet választásos kérdések formájában kell a tananyag elsajátításáról meggyőződni. A képzési programban felsorolt tantárgyak tartalmán kívül más tananyag nem kérhető számon.

## Gyakorlati vizsga

A gyakorlati vizsga célja: meggyőződni arról, hogy a tanfolyam résztvevői az elméleti tantárgyak előírt ismereteit milyen szinten képesek alkalmazni egy repülési feladat előkészítésében, légi üzemeltetésében és annak földi kiszolgálásában. Repülés közben használniuk kell az összes repülési módot. A repülési feladatnak legalább 80 percnél kell lennie.



4. ábra Nincs különbség az alkalmazott eszközökben a gyakorlás és a valós bevetés során (csak a helyszínen és a stresszben)<sup>8</sup>

A tanfolyam követelményi előírásainak teljesítése akkor tekinthető eredményesnek, ha a vizsga értékelése legalább megfelelő (MF). Amennyiben a vizsga bármelyik (szóbeli, írásbeli) részeredménye elégtelen (nem felelt meg) a vizsga eredménytelennek tekintendő. Amennyiben a vizsgázó az elméleti vizsgák bármelyikét elégtelenre (nem felelt meg) teljesíti, a gyakorlati képzésben nem vehet részt és gyakorlati vizsgát nem tehet.

A gyakorlati vizsgán, a tanfolyamon részt vetteknek két szerepkörben kell vizsgázniuk:

- 1 Operátor 1 (repülési feladat végrehajtása);
- 2 Operátor 2 (indítási művelet végrehajtása).

A vizsgázó az előre összeállított gyakorlati feladatok tételsorból (lezárt borítékban) húznak, melyet – annak kibontása nélkül – átadnak az oktatónak, aki ennek alapján irányítja a vizsgázó tevékenységét és győződik meg annak felkészültségéről.

<sup>8</sup> [www.haborumuveszete.hu/rovatok/fehyverek/repulok/szazadszor\\_az\\_afganisztani\\_legterben/skylark3.jpg](http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fehyverek/repulok/szazadszor_az_afganisztani_legterben/skylark3.jpg)

A vizsgázónak, amennyiben nem megfelelt értékelést kapott, két alkalommal van lehetősége megismételni a gyakorlati vizsgát új vizsgafeladat húzásával. A gyakorlati vizsga értékelése az oktató szóbeli értékelése alapján történik, amely lehet: nem felelt meg, megfelelt. A vizsgázó az oktató értékelése ellen semmilyen panasztételi lehetőséggel nem élhet.

### **Végső értékelés**

A vizsga végső értékelését az írásbeli a szóbeli és a gyakorlati vizsgán kapott érdemjegyek (értékelések) átlaga adja.

A tanfolyam követelményi előírásainak teljesítése akkor tekinthető eredményesnek, ha a vizsga értékelése legalább: megfelelő. Amennyiben a vizsga bármelyik (írásbeli, szóbeli, gyakorlati) részeredménye elégtelen (nem megfelelt) a vizsga eredménytelennek tekintendő.

A vizsga alól felmentés nem adható. A vizsgázóról törzslapot kell felfektetni, illetve sikeres vizsga esetén számára igazolást kell kiadni. A tanfolyam eredményes elvégzését a képzésben közreműködő szervezetek vezetői által aláírt oklevél igazolja.

## **A TANFOLYAMOK TAPASZTALATAI**

A tanfolyam életre hívásakor alapvetően nagyon sok új kérdés merült fel. Mit is tanuljanak a hallgatók? Természetesen az előljáró által lefektetett vezérvonal adta a tematika gerincét, de ötvözni kellett alapvetően eltérő fegyvernemek szemléletét, igényeit. Természetesen a légi felderítés sajátosságait és az eszköz szárazföldi fegyvernemnél történő alkalmazását kellett szem előtt tartani. Ettől függetlenül egy repülő eszközt oktatáshoz, annak későbbi felhasználásához mindenképpen az alapvető repüléssel, légiközlekedéssel kapcsolatos tantárgyakat is illeszteni kellett a tanfolyam tematikájába. Ilyenek például a légi jog, a repülési szabályzat ismeret, mellyel egy lövész katona szinte egész élete során nem találkozik. Ennek ellenére sikerült egy gyakorlatilag mindenre kiterjedő alapismereti modult szerkeszteni, ami illeszkedik az eszköz speciális tulajdonságaihoz.

Meg kell említeni a tanfolyamon résztvevő állomány jeles „hozzaállását”, hiszen ők voltak azok, akik több alkalommal kiváló átlaggal hajtották végre az elméleti modul vizsgáját a napi nyolc óra oktatás mellett rengeteg saját szabadidőt szentelve a tanulásra.

A gyakorlati képzés alapvetően a debreceni bázison történt az MH 24. Bornemissza Gergely Felderítő Zászlóalj állományából kijelölt gyakorlati oktatók felügyeletével, akik szinte napi pontossággal tájékoztatták a tanfolyam végrehajtásáért kijelölt tanfolyamfelelőst, a napi munkavégzésről az elért eredményekről.

A gyakorlati képzést sajnos sok tényező nehezítette az oktatók hibáján kívül. Előfordult, hogy vírus került az UAV rendszer szoftverébe, mely hetekkel hátráltatta a gyakorlati képzés végrehajtását. A rendszerhez nem tartozott sajnos kiképző repülőeszköz „dummy”, mellyel a gumiköteles indítást gyakorolni lehetett volna. Ezért az állomálynak az „éles” géppel kellett gyakorló indításokat végrehajtani, ami törvényszerűen az eszköz sérüléséhez, rongálódásához és sajnos egy esetben a megsemmisüléséhez vezetett. A gyakorlati tapasztalatok alapján ez a hiba megoldásra került, így már van eszköz a próbaindítás gyakorlására.

A gyakorlati indításokat megtekintette a szolnoki oktató állomány és nyugodtan kijelenthető, hogy a hallgatók profi módon hajtották végre a gyakorlati feladatokat a maximális repülésbiztonság betartása mellett. További oktatást nehezítő tényező volt a meglévő eszközök kis mennyisége, mellyel nem csak a kezelők képzését, de az afganisztáni missziókban résztvevő állomány felkészítését és továbbképzését is meg kell oldani. Mindamellet megállapítható, hogy nagyon jó szakmai kapcsolat van a képzésben résztvevő két szervezet között.

## A TANFOLYAMOK JÖVŐJE

A SKYLARK 1-LE típusú UAV rendszerben állása óta hatékony segítséget nyújt az afganisztáni műveleti területen tevékenykedő alegységek számára, megóvva ezzel katonáink életét és technikai eszközeink elvesztését. Minden egyes misszió új és új tapasztalatokat és felhasználási lehetőségeket hozott napvilágra a jól felkészített kezelő személyzet segítségével. A Tartományi Újjáépítő Csoportot vezető parancsnokok dicsérettel nyilatkoztak az eszköz és kezelőik képességéről. Tavaly az eszköz végrehajtotta 130. éles bevetését, fontos információkkal szolgálva a felderítési részlege és a parancsnokok számára. Az eszköz rendszerben tartása tehát indokolt, és pénzben kifejezhetetlen értéket jelent katonáink életének megóvása céljából. Az üzemeltetés pedig természetesen csak profi módon felkészített kezelők segítségével hatékony.

Az NKE Katonai Repülő és Légvédelmi tanszékén tovább folytatjuk az UAV kezelők felkészítését célzó tanfolyamokat, egyben a képzéséhez kapcsolódó jogszabályi háttér kimunkálásával kapcsolatos elemző és szintetizáló munkát mely az



***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

*A kutatás a projekt „Adatintegráció” alprogramán belül „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” kiemelt kutatási területén valósul meg.*

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PALIK M.: Pilóta nélküli légi jármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő had-erőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben, PhD értekezés, 2007 Budapest, ZMNE
- [2] HM HKF 5/2010 számú főnökségi kiadvány „Kiképzési követelmények a pilóta nélküli repülőgép kezelők számára”, Budapest 2010
- [3] RLI/25-20/2010 Nyt. sz. képzési program „A SKYLARK I-LE típusú kis-hatótávolságú pilóta nélküli repülőeszköz kezelői/üzemeltetői számára”, Szolnok, 2010
- [4] 14/2000. (XI. 14.) KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légterében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól
- [5] 3/2006. (II. 2.) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól

Dr. Kovács Zoltán<sup>1</sup>

## REPÜLŐTEREK VÉDELME IMPROVIZÁLT ROBBANÓESZKÖZÖK (IED) ELLEN<sup>2</sup>

*A terrorista robbantások elleni védekezés témakörének aktualitása napjainkban megkérdőjelezhetetlen, hiszen a robbantásos (terror) cselekmények szinte mindennapossá váltak, ha hazánkban nem is, azonban a médiában rendszeresen szerepelnek ilyen események. Az ellenük való hatékony védekezés, az arra történő felkészülés, vagy még inkább a lehetséges megelőzés pedig mindannyiunk érdeke.*

*A kritikus infrastruktúra elemei – közte a polgári és a katonai repülőterek és létesítményeik – különösen veszélyeztetettnek számítanak, így a szerző ezt a területet vizsgálva bemutatja a különböző, ezen létesítmények elleni támadásra alkalmazható improvizált robbanóeszközök elhelyezési és alkalmazási lehetőségeit, jellemzőit, az ilyen eszközök felderítését segítő technikai és taktikai megoldásokat.*

### PROTECTION OF AIRFIELDS AGAINST IED

*This article deals with the matter of the protection from terrorist blasting, which has a high importance, since these kinds of activities occur almost on daily basis. However, they used not to happen in our country, but lots of these incidents appear in different media. Protection from these events, preparation and even more the possible prevention is everyone's interest.*

*The elements of the critical infrastructure – i.e. civilian and military airfields - are among the specially endangered targets, so the author of this article tries to display the placement of different improvised explosive devices (IED) those may be used against these facilities and the technical, tactical solutions against them.*

## BEVEZETÉS

Az improvizált robbanóeszközök (IED)<sup>3</sup> olyan „házilagosan”, tehát nem üzemi körülmények között előállított bombák, amelyek a pusztító hatásukat egészségre ártalmas vegyi, biológiai anyagokkal, pirotechnikai eszközökkel, vagy gyújtóhatású anyagokkal érik el.

Katonai szempontból alkalmazásuk célja személyek, járművek vagy létesítmények alkalmatlanná tétele a harci tevékenységre, a figyelemfelkeltés és a lélektani hatás kiváltása.

Az improvizált robbanóeszközök előállításához használhatnak katonai vagy polgári célból gyártott robbanóanyagokat, esetenként házilag elkészített robbanóanyagot, elegyet.

*Az IED lehet mobil telepítésű, mint például egy mozgó járműbe rejtett bomba, illetve helyhez kötött, mint például egy út mentén elrejtett tüzérségi lövedék. Előbbi esetben a robbanóeszközt juttatják el a célponthoz, vagy a célpont közelébe, míg az utóbbi esetben azt megfigyelt szerkezetként indítva, a célpont ideális közelsége esetén történik a detonáció.*

Az IED indításához, a detonáció kiváltásához különféle eszközök alkalmazhatók. A leggyako-

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. dr. Szabó Sándor egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, szabo.sandor@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Az angol Improvised Explosive Device kifejezésből rövidítve: IED



ribbak a *mechanikus szerkezetek*, amelyek húzásra, teherelvételre, nyomásra, elmozdításra reagálnak, tehát a célpont közvetlen behatására működnek; az *időzítő szerkezetek* (óraművek, elektronikus, kémiai időzítők), amelyek a meghatározott idő elteltével önállóan, a célponttól függetlenül működtetik a robbanóeszközt; valamint az *irányított szerkezetek*, amelyek vezetékes vagy vezeték nélküli rádióvezérléssel, a merénylő által kiadott jelre reagálnak (1. ábra).



1. ábra IED indításához használt eszközök<sup>4</sup>

Az IED-ket, legyen szó mobil vagy helyhez kötött szerkezetről, az elkövetők igyekeznek gondosan rejteni, álcázni, hiszen ez a „sikeres” alkalmazás kulcstényezője lehet.

## IED ALKALMAZÁSA

Az improvizált robbanóeszközök célpontjaként általában olyan létesítményeket szemelnek ki, amelyek szimbolikus jelentőségűek, vagy valamilyen szempontból döntő fontosságúak, illetve nagy tömeg, sok ember tartózkodik benne vagy a közelében. Ilyen létesítmények lehetnek:

- kormányzati, vagy középületek (állami létesítmények, bankok, stb.);
- rendezvények helyszínei (sportcsarnokok, kiállítás helyszínei);
- közművek elemei (elektromos hálózat, víz-, gáz-közműhálózat);
- közlekedési csomópontok, létesítmények (alagút, híd, kikötő, vasúthálózat és repülőterek).

### Repülőterek, repülőgépek veszélyeztetettsége

Az improvizált robbanóeszközök alkalmazásának kiemelt célpontjai lehetnek a polgári és katonai repülőterek, illetve repülőgépek.

A robbantásos cselekmények fő célja a félelem- és zavarkeltés, a légi közlekedést érintő események pedig mindig nagy nyilvánosságot kapnak, a média kitüntetett figyelmet szentel a

<sup>4</sup> Forrás: Rögtönzött robbanóeszközök elleni tevékenység (C-IED) alapismeret, MH Műveleti Központ kiadványa, Budapest, 2010. – 13. o.

repülést érintő eseményeknek. Különösen igaz ez a vízvázasztóként számon tartott 2001. szeptember 11-én történtek óta. Az akkori események új korszakot nyitottak a terrorizmus történetében. Az egyik sajátosságként említhetjük, hogy az improvizált robbanóeszközök szerepét már nem az „egyszerű házilagos készítésű” bombák töltötték be, hanem a polgári utasokat szállító repülőgépeket alkalmazták fegyverként. A fegyver pedig tökéletes volt, minden szempontból ideális az elkövetők számára: jelentős anyagi károk keletkeztek; az emberáldozatok száma kiemelkedően magas volt; az eseményekről a világ valamennyi médiája tudósított; az események keltette pszichológiai hatás pedig azóta is szinte tapintható.

A repülőtéri biztonság kérdése is gyökeres felülvizsgálatra szorult szeptember 11-ét követően. Két nagy területen kellett minél gyorsabban és hatékonyabban felvenni a harcot az improvizált robbanóeszközökkel: az egyik a robbanóeszközök repülőtérre bejuttatásának vagy repülőgépre történő felvitelének megakadályozása, a másik pedig – ha az előbbi nem jár sikerrel – a személyi veszteségek és a keletkező anyagi károk mérséklése.

Az IED létesítménybe történő bejuttatásának akadályozását már a repülőtér területének megközelítésekor meg kell kezdeni. Az épületektől minél távolabb (természetesen az ésszerűség határain belül) célszerű például kialakítani a gépjárművek számára fenntartott parkolóhelyet, ezzel csökkentve annak a lehetőségét, hogy mozgó járműben elrejtett IED-t használjanak, illetve a parkolóban álló járműben elrejtett robbanóeszközt indítsák a megfelelő pillanatban. Lehetőleg a földfelszín alatti parkolók kialakítását teljesen mellőzni kell, ha azonban ez elkerülhetetlen, akkor csak fokozott biztonsági intézkedésekkel lehet (pl. kamerák, járművek átvizsgálása) csökkenteni a kockázatot.



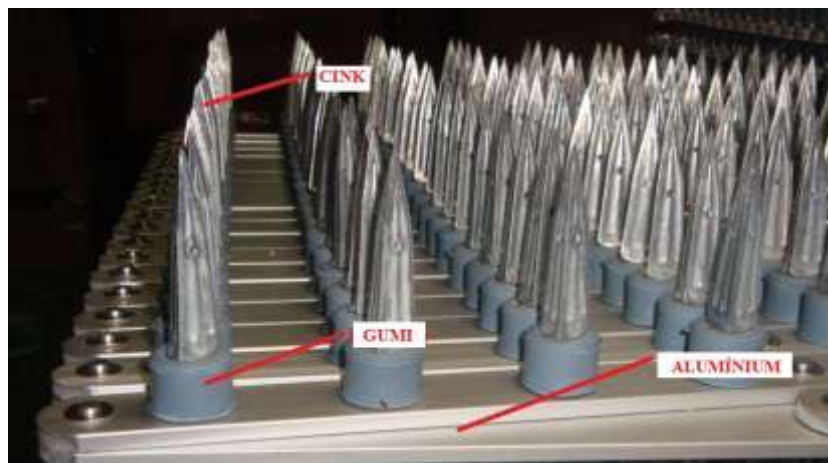
2. ábra. Repülőtér lehetséges védelmi zónái<sup>5</sup>

A repülőtér közelében és a megközelítésre szolgáló területen már a külső védelmi zónában – a járműforgalom részére és a parkolás céljából fenntartott rész – is aktív felderítést és kockázatelemzést kell végezni, melyet a belső zónában – ez kizárólag gyalogos mozgást biztosító terület – is folytatni kell. (2. ábra)

<sup>5</sup> Forrás: <http://www.dtic.mil/ndia/2010GlobalExplosive/Doherty.pdf> (2012. 02. 29.)

Ezt a feladatot különböző optikai és elektrotechnikai eszközökkel (videokamerák, infravörös érzékelők, szenzorok, stb.) a legegyszerűbb végrehajtani, melyektől az információk a megfigyelőközpontba jutnak, ahol elemzik és értékelik azokat, próbálják kiszűrni a gyanús személyeket, járműveket és tevékenységet. Ezt az elektronikus felderítési rendszert ki lehet egészíteni járőrözéssel, közvetlen megfigyeléssel, illetve a repülőtér jelentőségétől függően, a járművek tényleges fizikai átvizsgálásával már a külső védelmi zónába történő behajtáskor.

Az átvizsgáláshoz megfelelően kialakított ellenőrző-áteresztő pontot kell működtetni, ahol a személyzet a meghatározott eljárási rend szerint átvizsgálhatja a járművet és a benne tartózkodókat. Az ellenőrző pont megközelítésének szabályozására alkalmazni kell a megfelelő védelmi berendezéseket, amelyekkel kontrollálható a járművek sebessége, mozgása. Ilyen berendezések lehetnek a forgalomlassító közlekedési folyosóban elhelyezett ún. fekvőrendőrök, a különböző típusú tüskés útzárak, kiemelkedő oszlopok és sorompók (lásd: 3–6. ábrák), illetve a katonai repülőterek esetében a HESCO bástyák.<sup>6</sup>



3. ábra Tűskés útzár szerkezeti kialakítása<sup>7</sup>

A tüskés útzárak hordozható és az útpálya szerkezetébe előre beépített változatban is alkalmazhatóak. Előbbiket kézi erővel kell az úttesten keresztben a megfelelő szélességben szét húzni, utóbbiakat pedig általában hidraulikus vagy elektromos vezérléssel lehet működtetni.

A tüskés útzárak hátránya, hogy a korszerű kialakítású, defektbiztos gumiabroncsokban nem minden esetben okoz olyan mértékű károsodást, hogy a – improvizált robbanóeszközzel felszerelt – jármű ne tudjon továbbhaladni, és a közeli létesítményig eljuttatni terhét. A beépített útzárak hatékonysága sokkal nagyobb, teszteredmények alapján képesek akár a nagy sebességgel közeledő tehergépjárművek megállítására is.

<sup>6</sup> Bővebben lásd: SZABÓ Sándor, TÓTH Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről I. Műszaki Katonai Közlöny XIX.:(1-4.) pp. 253-278. (2010) és Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről II. Műszaki Katonai Közlöny XX.:(1-4) pp. 97-118. (2011)

<sup>7</sup> Forrás: [http://img.alibaba.com/img/pb/835/261/370/370261835\\_473.jpg](http://img.alibaba.com/img/pb/835/261/370/370261835_473.jpg) (2012. 02. 29.)



4. ábra. Hidraulikusan emelt útzár tesztelése<sup>8</sup>

Az útpálya szerkezetébe beépített kiemelkedő oszlopok is hatékonyak lehetnek, azonban az egymástól való távolságuk miatt kizárólag teher- és személygépkocsik ellen alkalmazhatóak, és pl. motorkerékpárra szerelt IED esetén nem biztosítanak kellő védelmet. Főbb alkalmazási területük nem is az ellenőrző pontok területén javasolt, hanem egyfajta szűrőként, kiegészítő eszközként a létesítmény megközelítési irányában.



5. ábra Hidraulikusan kiemelkedő oszlopok szerkezeti kialakítása<sup>9</sup>

Végül, de nem utolsó sorban a különböző sorompók képezik a leggyakrabban alkalmazott védelmi eszközöket, melyek korszerű, megerősített szerkezetű változatai a beépített útzárhoz hasonlóan akár a tehergépjárműveket is képesek megállítani.

A fentebb bemutatott eszközök a járművek mozgásának kontrollálására szolgálnak, azonban nem szabad elfelejtkeznünk a személyek és a poggyászaik ellenőrzésének fontosságáról!

A harmadik védelmi zónában (lásd fentebb a 2. ábrán), a repülőtér közvetlen bejárati részénél már kizárólag gyalogos mozgást szabad biztosítani, ahol biztonsági őrök, robbanóanyagkereső kutyák, illetve különböző technikai eszközök segítségével történik a személyek és a csomagok átvizsgálása, a robbanóeszközök és alkatrészeik kiszűrése.

A technikai eszközök fajtái igen sokrétűek, más-más detektálási lehetőséget biztosítanak. A „legegyszerűbbek” a fémdetektorok, amelyek a csomagokban és a személyek testéhez rögzített különböző – esetlegesen az IED részegységét képező – ferromágneses fémek jelenlétét jelzik, hatástalanok azonban a robbanóanyagok kimutatásában.

<sup>8</sup> Forrás: <http://www.securitysolutionsgb.com/images/header/innovationBanner.jpg> (2012. 02. 29.)

<sup>9</sup> Forrás: [http://www.achdistribution.com/media/product\\_images/large/3053.jpg](http://www.achdistribution.com/media/product_images/large/3053.jpg) (2012. 02. 29.)



6. ábra Emelkedő típusú sorompó<sup>10</sup>

A robbanóanyagok és más, tiltott eszközök vizuális észlelésére alkalmazhatók a különböző röntgenberendezések, melyekkel a csomagokat és az utasokat is át lehet vizsgálni. E berendezések lehetnek stacioner elhelyezésűek vagy mobilak (7. ábra).



7. ábra Stacioner csomagellenőrző röntgen<sup>11</sup>

Az utasok ellenőrzésére szolgálnak a milliméteres hullámhosszúságon működő szkennerek<sup>12</sup>, amelyek a ruházaton „átlátva”, a fizikai motozást szükségtelenné téve képesek felfedni a ruha alatt elrejtett tárgyakat (8. ábra).

<sup>10</sup> Forrás: [http://www.avon-barrier.com/images/gallery/91/tb2\\_EB950CRRisingArmBarrier-AvonBarrier6.JPG](http://www.avon-barrier.com/images/gallery/91/tb2_EB950CRRisingArmBarrier-AvonBarrier6.JPG) (2012. 02. 29.)

<sup>11</sup> Forrás: <http://zandz.hu/?HI-SCAN-6040i&pid=42> (2012. 02. 29.)

<sup>12</sup> Bővebben lásd: LUKÁCS László: A polgári repülés robbantásos fenyegetettsége. Repüléstudományi Közlemények Különszám 2011: Véget ért a MiG-korszak. pp. 1-9.(ISBN:HU ISSN 1789-770X)



8. ábra Személyi átvilágító berendezés képe<sup>13</sup>

A vizuális felderítés nem minden esetben teszi azonban lehetővé a robbanóanyagok észlelését, ezért a létesítmények hatékony védelme érdekében célszerű alkalmazni a robbanóanyagból kipárolgó elemi részecskék kimutatására alkalmas eszközöket, berendezéseket.

A gázkromatográfiás berendezések a levegőből vett „szagmintával” képesek a csomagok (esetlegesen személyek) átvizsgálására. Az eszközök pár másodperc idő alatt megállapítják, hogy a vizsgált csomag érintkezett-e (tartalmaz-e) valamilyen robbanóanyaggal (9. ábra).



9. ábra Kézi gázkromatográfiás műszer<sup>14</sup>

A robbanóanyagok kipárolgásának észlelésére alkalmazhatók még a robbanóanyag-kereső kutyák is, azonban a technikai eszközökkel ellentétben, melyek több tucat anyag szagmintájának érzékelésére beállíthatók, a kutyák csak a nekik megtanított pár szagmintákat jelzik, valamint befolyásolhatja a teljesítményüket az igénybevételük intenzitása, időtartama, stb.

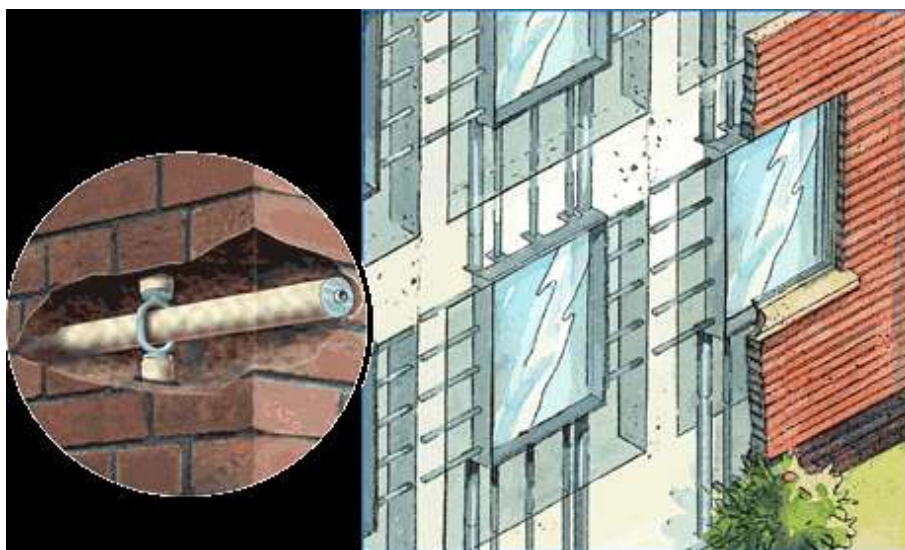
A fentiekben bemutatott eszközök az IED és annak részei felderítését, a repülőtérre vagy a repülőgépekre történő juttatásuk megakadályozását biztosítják. Az IED elleni védelem másik területe a keletkező károk és a személyi veszteségek minimalizálását célozza meg, arra az

<sup>13</sup> Forrás: [http://www.mtn18.com/latest\\_news/8\\_airportscanner.jpg](http://www.mtn18.com/latest_news/8_airportscanner.jpg) (2012. 02. 29.)

<sup>14</sup> Forrás: <http://www.zandz.hu/?lang=hun&menu=92&pid=103> (2012. 02. 29.)

esetre, ha nem sikerült kiszűrni és megakadályozni a robbanóeszköz bejuttatását.

Ennek egyik fontos eleme, hogy az újonnan épített létesítmények szerkezetét, falazatát úgy kell kialakítani, hogy a robbanás hatásainak minél nagyobb mértékben ellenálljon.



10. ábra Falazat megerősítése<sup>15</sup>

E célra alkalmazhatók a falszerkezetben elhelyezett hossz- és keresztirányú merevítők (10. ábra), amely a beépítést követően a külső szemlélőnek láthatatlan marad. Szintén a falszerkezet védelmét és megerősítését szolgálja a speciális védőburkolat, amely a robbanás bekövetkezése esetén csökkenti a falat érő túlnyomást és részben elnyeli a keletkező lökéshullámokat.



11. ábra Tartószerkezet szénszálas megerősítése<sup>16</sup>

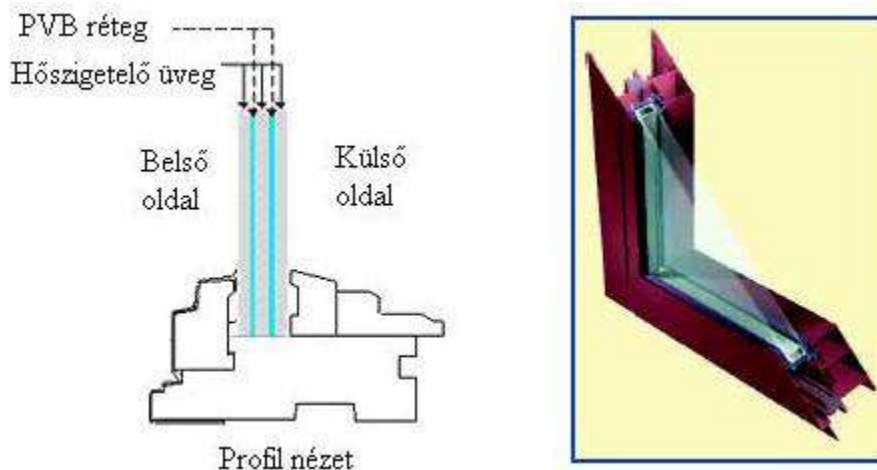
A falszerkezet mellett különösen fontos a tartó (váz-) szerkezet megerősítése. Az általánosan

<sup>15</sup> Forrás: [http://www.cintec.net/site/blastec/reinforcement\\_of\\_masonry.htm](http://www.cintec.net/site/blastec/reinforcement_of_masonry.htm) (2012. 02. 29.)

<sup>16</sup> Forrás: <http://schnellcontractors.com/concrete-repair/carbon-fiber-strengthening/> (2012. 02. 29.)

használt vasbeton tartóoszlopok ellenálló képessége növelhető például a szénszálalás műanyagok használatával, amely a merev szerkezetet a fellépő erőhatásokkal szemben sokkal rugalmasabbá teszi.<sup>17</sup>

A korszerű épületek túlnyomó többsége kiterjedt üvegfelülettel rendelkezik, e felületek megfelelő védelme is fontos, hiszen a keletkező szilánkok, repeszek súlyos sérüléseket képesek okozni. Az üvegfelületek megerősítése is többféle módszerrel történhet.



12. ábra Többrétegű üveg kialakítása<sup>18</sup>

Az egyik leghatékonyabb a többrétegű üvegfelület alkalmazása, amelynek PVB-gyanta alapanyaga az eredeti tulajdonságok megtartása mellett erősebbé, hajlékonyabbá teszi a nyílászárót amellet, hogy a javítja a hőszigetelést és a káros sugárzás kiszűrését (12. ábra).

Hasznos megoldás lehet az üvegfelület fóliázása is, melynek során a belső és a külső felületre poliészter alapú fóliaréteget rögzítenek, amely az ablaküveg törésekor összefogja azt, és nem engedi az üvegszilánkokat, repeszeket szétszóródn.

Az üvegfelület erősítésére alkalmazható az üveglapok drótrácsozása, amely szintén megakadályozza az üveg berobbanását, szilánkok keletkezését.

Írásomban csak röviden villantottam fel az improvizált robbanóeszközök elleni védelem egyes eszközeit és módszereit, melyeket a légi közlekedés biztonsága érdekében a repülőterek és létesítményeik védelme érdekében alkalmaznak napjainkban.

Összegezve a fentieket, megállapíthatjuk, hogy a polgári és a katonai rendeltetésű repülőterek veszélyeztetettsége jelentőségüknél fogva magasnak mondható, kiváló célpontot nyújtanak a robbantásos cselekmények elkövetőinek. Éppen ezért a védelmük, megerősítésük az improvizált robbanóeszközökkel szemben kiemelt feladatot jelent valamennyi szakember számára.

<sup>17</sup> Bővebben lásd: BALOGH Zsuzsanna: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen., [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Balogh\\_Zsuzsanna.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Balogh_Zsuzsanna.pdf) (2012. 02. 29.)

<sup>18</sup> Forrás: <http://www.cintec.net/site/blastec/windows.htm> (2012. 02. 29.)





TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások

„A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Rőgtönzött robbanóeszközök elleni tevékenység (C-IED) alapismeret, MH Műveleti Központ kiadványa, Budapest, 2010., Nyt. szám: 18/984
- [2] Internet: <http://www.dtic.mil/ndia/2010GlobalExplosive/Doherty.pdf> (2012. 02. 29.)
- [3] SZABÓ Sándor, TÓTH Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről I. Műszaki Katonai Közlöny XIX.:(1-4.) pp. 253-278. (2010)
- [4] SZABÓ Sándor, TÓTH Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről II. Műszaki Katonai Közlöny XX.:(1-4) pp. 97-118. (2011)
- [5] Internet: [http://img.alibaba.com/img/pb/835/261/370/370261835\\_473.jpg](http://img.alibaba.com/img/pb/835/261/370/370261835_473.jpg) (2012. 02. 29.)
- [6] Internet: <http://www.securitysolutionsgb.com/images/header/innovationBanner.jpg> (2012. 02. 29.)
- [7] Internet: [http://www.achdistribution.com/media/product\\_images/large/3053.jpg](http://www.achdistribution.com/media/product_images/large/3053.jpg) (2012. 02. 29.)
- [8] Internet: [http://www.avon-barrier.com/images/gallery/91/tb2\\_EB950CRRisingArmBarrier-AvonBarrier6.JPG](http://www.avon-barrier.com/images/gallery/91/tb2_EB950CRRisingArmBarrier-AvonBarrier6.JPG) (2012. 02. 29.)
- [9] Internet: <http://zandz.hu/?HI-SCAN-6040i&pid=42> (2012. 02. 29.)
- [10] LUKÁCS László: A polgári repülés robbantásos fenyegetettsége. Repüléstudományi Közlemények Külön-szám 2011: Véget ért a MIG-korszak. pp. 1-9.(ISBN:HU ISSN 1789-770X)
- [11] Internet: [http://www.mtn18.com/latest\\_news/8\\_airportscanner.jpg](http://www.mtn18.com/latest_news/8_airportscanner.jpg) (2012. 02. 29.)
- [12] Internet: <http://www.zandz.hu/?lang=hun&menu=92&pid=103> (2012. 02. 29.)
- [13] Internet: [http://www.cintec.net/site/blastec/reinforcement\\_of\\_masonry.htm](http://www.cintec.net/site/blastec/reinforcement_of_masonry.htm) (2012. 02. 29.)
- [14] BALOGH Zsuzsanna: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen., [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Balogh\\_Zsuzsanna.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Balogh_Zsuzsanna.pdf) (2012. 02. 29.)
- [15] Internet: <http://schnellcontractors.com/concrete-repair/carbon-fiber-strengthening/> (2012. 02. 29.)
- [16] Internet: <http://www.cintec.net/site/blastec/windows.htm> (2012. 02. 29.)

Nagy Róbert<sup>1</sup>

## ROBBANÁSTERHEK KÖZELÍTŐ FELVÉTELE<sup>2</sup>

*Épületeink robbanással szembeni biztonságának megítélésének, és az új épületek erre való tudatos tervezésének első lépcsője a robbanásból a szerkezetre ható teher megállapítása. A mérnöki praktikum szempontjait szem előtt tartva, főként az ennek egyszerűsített módszereivel foglalkozom, rövid kitekintést nyújtva a számítógéppel segített tervezés felé. A robbanáselmélet néhány arányosító tényezőjének bevezetésével (trotil egyenérték, energetikai hasonlósági törvény) és a robbanás mechanizmusának formalizálásával képesek vagyunk leírni a kialakuló lökéshullám főbb tulajdonságait (túlnyomás, impulzus, lecsengési idő). Ezt a hatást alakítjuk a szerkezetre ható teherré figyelembe véve annak térbeli elhelyezkedését, geometriai kialakítását és anyagi viselkedését. Ezzel a módszerrel konzervatív becslést igyekszünk adni az épületet érő terhekre.*

### **BLAST LOAD ASSESSMENT**

*Aiming at estimating the safety of our buildings against explosions and the conscious-minded design of our structures to withstand explosions, the first step we have to cope with is the assessment of the blast load. With a practical approach we focus on its simplified methods, with a minor view on computer aided design. Introducing scaling factors like TNT equivalency and scaled distance, and formalizing the explosion process we are able to describe the main properties of the shock wave (overpressure, momentum, and positive phase duration). This effect is converted to loads acting on the structure considering its position in space, geometry and material behaviour. With this method we intend to estimate the loads in a safety-first manner.*

### KIVONAT

A közelmúlt egyre intenzívebb terrorista cselekményeinek következtében **szerkezeteink robbanással szembeni megóvására** egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetnünk. A repülést kiszolgáló létesítményekhez hasonló, nagy jelentőségű épületek esetében pedig mindez különösen indokolttá válik.

Jelen cikk ennek a tervezési és ellenőrzési folyamatnak az első lépcsőjét, a külső robbanásból a szerkezetre ható **teher modellezésének** lehetőségeit elemzi, és foglalja össze. A mérnöki praktikum szempontjait szem előtt tartva főként az **egyszerűsített módszerekkel** foglalkozom, azonban rövid kitekintést teszek a számítógéppel segített tervezés, a numerikus szimulációk adta új lehetőségek felé is.

A robbanáselmélet segítségével néhány arányosító tényező bevezetésével (trotil egyenérték, energetikai hasonlósági törvény) és a robbanás mechanizmusának formalizálásával képesek vagyunk leírni a kialakuló **lökéshullám főbb tulajdonságait** (túlnyomás, impulzus). Ezt a hatást alakítjuk a szerkezetre ható teherré figyelembe véve annak térbeli elhelyezkedését, geometriai kialakítását és anyagi viselkedését. Ezzel a módszerrel konzervatív becslést igyekszünk adni az épületet érő terhekre.

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar. mail.robert.nagy@gmail.com

<sup>2</sup>Lektorálta: Prof. Dr. Lukács László ny. alez, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

A pontosság további növelésének érdekében a közvetítő közeget, a környezetet és az épületet közösen kell kezelnünk figyelembe véve azok kölcsönös egymásra hatását. Ez azonban már a legújabb kutatások irányába vezet és nagykapacitású számítástechnikai háttérrel feltételez. Az ezt kezelni képes **numerikus módszerek** (FEM, FVM) alkalmazásával a paraméterter kísérletekkel validált pontjai által közrezárt intervallumon képesek vagyunk a hatásokat nagy pontossággal interpolálni.

## BEVEZETÉS

A jelenkori világpolitika és a harcászat fejlettség elérte, hogy a fejlett államok területszerzési céllal nem támadnak egymásra. Ugyanakkor, ezzel párhuzamosan új hadviselési forma jelent meg, melynek művelői beleolvadnak polgári társadalomba. Ennek egyik formáját képezik a **terrorszervezetek**, melyek célja, ahogyan azt a szó eredeti jelentése is mutatja, rettegés, zavar és a biztonság hiányának előidézése a lakosság körében. Eszközei erőszakos cselekmények, vagy az azokkal való fenyegetés, céljai pedig különböző politikai, vallási vagy nemzeti ideológiák érvényesítése. A globalizáció következtében a mindennapi élet árca elfedi ezeket a csoportokat, éppen ezért az aktív védekezés morális kérdéseket feszeget, amelyek közül például az egyéni szabadságjogokra minden kormánynak különös tekintettel kell lennie, így a terrorizmus ellen folytatott harc komoly nehézségekbe ütközik. Azonban egyik hatásos és szükséges módja az épületeink szándékos **robbantással szemben tanúsított ellenállásának tudatos méretezése**, amellyel biztonságosabb és élhetőbb környezetet hozhatunk létre a lakosság számára, megóvhatjuk az emberek életét és a társadalmi berendezkedés működéséhez szükséges kifinomult, és ezzel egyidejűleg mindinkább sérülékeny rendszereinket. A repülést kiszolgáló létesítményekhez hasonló, nagy jelentőségű épületek esetében mindez különösen indokolttá és aktuálissá válik, és közös katonai – építőmérnöki együttműködést igényel.

## ROBBANÁS ÉS ROBBANÓANYAGOK

Ebben a fejezetben összefoglalom a robbanással kapcsolatos alapvető ismereteket és fogalmakat. A különböző robbanástípusok csoportosítása után lehatárolom a gyakorlati szempontból legfontosabb eseteket, a további fejezetek főként koncentrálnak. Röviden ismertetem a robbanás mechanizmusát, a jelenség számszerűsítésének módját és modelljeit, a robbanóanyagok különböző fajtáit, végül az egységes kezeléshez szükséges arányosító tényezőket.

### A robbanás fogalma és fajtái

Robbanás során egy termodinamikailag nyílt rendszerben **rövid idő** alatt **nagy mennyiségű energia** szabadul fel.

A folyamat szempontjából megkülönböztetünk **nukleáris**, **fizikai** és **kémiai** robbanásokat. Az első esetben a felszabaduló energia az egymással kölcsönható atommagok egyesülése<sup>3</sup> vagy hasadása<sup>4</sup> során kialakuló tömegdefektus következménye. A második típusnál a rendszert

<sup>3</sup> Uránium vagy plutónium töltet esetén

<sup>4</sup> Hidrogén töltet esetén

alkotó elemek nem szenvednek kémiai változást. Ilyen például egy sűrített gázt tartalmazó tartály tönkremenetele, ahol a kitáguló anyag lehűlése során felszabaduló belső energia alakul át mozgási energiává. Ugyancsak fizikai eredetű robbanást okoz egy nagy sebességgel becsapódó tárgy, ahol viszont éppen a mozgási energia alakul át hővé. A harmadik kategóriába különböző heves hő és gázfejlődés kíséretében lezajló kémiai reakciók tartoznak. Ezen belül érdemes különbséget tenni **térrobbanások** és **kondenzált fázisú robbanások** közt. Térrobbanás során a kémiai reakcióban résztvevő anyagok közül legalább az egyik gáz halmazállapotú, ezáltal nagy térrészt tölt ki viszonylag kis koncentrációval, így a térfogategységre eső reakcióhő átlagosan három nagyságrenddel alatta marad a kondenzált fázisú eseteknek<sup>5</sup>, amikor is a reakcióban résztvevő anyagok folyadék vagy szilárd halmazállapotúak, és így a keletkező robbanási gáztermék az eredeti térfogat 10000-szerese is lehet, szemben térrobbanás során bekövetkező megközelítőleg 10-szeres térfogat növekedéssel. A közelmúlt tanulmányai alapján épületeink terrorizmus elleni robbanásvédelmének gyakorlati szempontjából a legfontosabb kategóriát a kondenzált fázisú kémiai robbanások jelentik, így a további fejezetekben ezzel foglalkozom részletesen.

Általában az exoterm kémiai reakciók a gyújtóforrást körülvevő kis térrészből indulnak ki, és egy reakciófrontnak nevezett jól meghatározott tartományban mennek végbe, amely időben előre halad felemészteve a még reagálatlan anyagot. A front haladási sebessége jellemzi a reakció **hevességét**. Így azokat növekvő sorrendbe rendezve, a következő szakirodalmi elnevezések használatosak: égés, gyors égés, gyenge, közepes, erős deflagráció, robbanás és detonáció. Éles határvonalakat nem húzhatunk köztük. Az **égés** frontjának sebessége 10 m/s-nál kisebb, hőátadás és diffúzió révén terjed, a nyomásemelkedés pedig elenyésző. A **deflagráció** sebessége néhány 100 m/s is lehet, de feltétlenül a hangsebesség alatt marad, ekkor a front és a keletkezett gáznemű égéstermék haladási iránya egymással ellentétes. A **robbanási** front sebessége – már a hangsebességet meghaladva – elérheti az 1000 m/s-ot is. Ekkor a reakciókinetikában a hőátadáson és a diffúzióon kívül jelentős szerepet játszik a fronton kialakuló adiabatikus kompresszió is, ilyen esetben a robbanási termékek már a fronttal egyező irányba haladnak. A **detonációs** front legnagyobb sebessége 10000 m/s lehet. Ebben az esetben a folyamatot a front adiabatikus összenyomódása következtében kialakuló belsőenergia növekedés hajtja. A továbbiakban e két utóbbival foglalkozom.

A robbanás során kialakuló terhek leírása szempontjából még különbséget kell tennünk **zárt** illetve **nyílt térben** létrejövő robbanások, továbbá a terhet közvetítő közeg szempontjából **levegőben, folyadékban** vagy **talajban** végbemenő robbanások közt. A következő fejezetekben mind nyílt, mind zárt térben, levegőben lezajló robbanásokról lesz szó.

## A robbanási folyamat

Ebben az alponthoz a robbanás fizikai folyamatát mutatom be a szemléletesség és a kísérleti megfigyelhetőség előnyeit kihasználva egy egyik végén **zárt csőben létrejövő térrobbanás** példáján keresztül. Az inicializálás hatására a cső zárt végén lévő gyújtóforrás környezetében a gáz égni kezd, kitágul és a csőben előre nyomul. Az égő és az elégetlen gáz közti határréteg

<sup>5</sup> Példaként álljon itt az optimális robbanó összetételű metán-levegő elegy 3,5 kJ/l és a TNT 6700 kJ/l nagyságú robbanáshője

a lángfront, ennek felületére vett merőleges sebességét nevezzük égési sebességnek. A front kezdetben tompa kúp alakú, majd a turbulencia következtében hullámossá, de a cső keresztmetszete mentén kiegyenlítetté válik. A turbulencia fokozódásával a reakciófelület és ezzel, a hőtermelés fokozódásán keresztül, annak haladási sebessége is egyre nő. A lángzónát a mögötte keletkező égéstermék kitágulása a dugattyúként előrenyomja és előtte nyomáshullámnak nevezett gáztorlasz keletkezik, ahol a sűrűség és a nyomás is megnövekszik. A nyomás maximuma ekkor a lángfronttal érintkező határfelületen van, azonban a további gyorsulás következtében a később keletkező nyomáshullámok utolérlik a korábbiakat, a nyomás maximuma előretolódik a nyomásfront felé, majd kialakul a robbanási hullám. Ekkor a friss gáz meggyújtásában a hőátadás és a diffúzió mellett szerephez jut a nyomáshullám adiabatikus összenyomódása következtében kialakuló felmelegedés is, azonban a kémiai reakció még mindig a lángzónában folyik. A reakció további gyorsulásával kialakul a detonációs hullám, amelynek fontjában a nyomás ugrásszerűen olyan mértékben megnő, hogy a friss gáz már itt gyulladási hőmérsékletre melegszik és beindítja a gyulladási folyamatot, amely egészen a láng frontjáig tart, azonban az égés maga a lángfront és az elégett gáz határreége közé korlátozódik.

A fizikai jelenség megismerése után, amelyet gyors filmfelvételek segítségével kísérleti elemzések segítségével sikerült megérteni, a következő pontban rátérünk a matematikai leírásra.

### A robbanási folyamat modelljei

A XIX. század végén egymástól függetlenül David L. Chapman (1899), Emile Jouguet (1904) és Mikhel'son (1890) közel egy időben fektette le a robbanáselmélet alapjait, amelyet ma a szakirodalom **Chapman – Jouguet (CJ) - elmélet** néven ismer. Modelljük alapfeltevése szerint a robbanás energiáját termelő kémiai reakció egy felületen, a robbanás frontján, végtelenül gyorsan – és így a reakciókinetikát figyelmen kívül hagyva – következik be, ahol ugrásszerűen változnak a gáz kémiai összetétele és a fizikai állapotjelzői is. Ahhoz, hogy a detonációfront sebessége időben állandó maradjon, szükséges, hogy a mögötte keletkező ritkulási hullámok ne gyengítsék le, a detonációs termékek ne haladjanak lassabban a lokális hangsebességnél (ez a ritkulási hullámok terjedési sebessége). Ezt kiegészítve azzal a megfigyeléssel, hogy minden robbanóanyaghoz egy jól meghatározott detonációhullám sebesség tartozik, a következőkben részletezendő, lökeshullám terjedés **Rankine – Hugoniot - modellje** alapján belátható, hogy ez a sebesség épp a lokális hangsebesség lesz.

$$\text{A tömegmegmaradás: } \rho_{CJ} \cdot (U - u_{CJ}) = \rho_1 \cdot U. \quad (1)$$

$$\text{A lendületmegmaradás: } p_{CJ} - p_1 = \rho_1 \cdot u_{CJ} \cdot U, \quad (2)$$

$$\text{Az energiamegmaradás: } e_{CJ} + \frac{1}{2}(U - u_{CJ})^2 + \frac{p_{CJ}}{\rho_{CJ}} = e_1 + \frac{1}{2}U^2 + \frac{p_1}{\rho_1} + Q, \quad (3)$$

$$\text{CJ hipotézis: } \rho_1 \cdot U^2 = \rho_{CJ} \cdot \gamma \cdot p_{CJ}. \quad (4)$$

A 2. világháború alatt szintén egymástól függetlenül Yakov Zel'dovich (1940), Neumann János (1942) és Werner Döring (1943) továbbfejlesztette az előző modellt. Ez, a hármójukról elnevezett, **ZNW - elmélet** már kiterjedt detonációhullámot feltételez, amelyet a lökésfront és a reakciófront határol. A lökésfronton a gáz állapotváltozói ugrásszerűen változnak és a megnövekedett nyomás a robbanóanyagot felhevíti, amely azonban a detonációhullámban még

nem alakul át, ez csak a CJ elméletből megtartott reakciófronton következik e szintén pillanatszerűen, a reakciókinetikát figyelmen kívül hagyva. A modell még mindig tartalmaz hiányosságokat, amelyeket az utóbbi időkben részben kiegészítettek, azonban már ebben a formájában is képes meglehetősen összetett jelenségek leírására is. A gyakorlat szempontjából ennyi háttértudás elegendőnek bizonyul.

## Robbanóanyagok

A robbanóanyagok olyan vegyületek vagy keverékek, melyek meghatározott külső behatásokra gyors kémiai átalakulásra képesek, miközben nagymennyiségű és nagy nyomású gázok képződnek, mely gázok kiterjedésük közben mechanikai munkát fejtenek ki.

A katonai és polgári vonatkozásban használt valamennyi robbanóanyagot gyakorlati alkalmazásuk szerint az alábbi módon csoportosíthatjuk:

Robbanóanyagok típusai				
Toló hatású (Impulzív)	Inicializáló (Primer)	Brizáns		
		Alacsony hatóerejű	Közepes hatóerejű	Magas hatóerejű
A robbanás fő hatásmechanizmusa az égés	Mechanikai és hőhatásokra érzékenyek, gyújtóeszközök lőszerelésére, brizáns anyagok iniciálására használhatóak.	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> alapú robbanóanyagok, paxitok, robbanóanyagok	Nitrotoluol származékok	
Lőporok	Durranóhigany /Hg(CNO) <sub>2</sub> / Ólom-azid /Pb(N <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /	Paxit Ando	TNT Plasztikus	Hexogén /RDX/ Nitropenta

1. táblázat A robbanóanyagok csoportosítása

A **toló hatású** (impulzív) robbanóanyag például a lőpor, fő hatásmechanizmusa az égés, így ezek tárgyalásától eltekintek. Az **iniciáló** (primer) robbanóanyagokat, mint például az ólom-azidot /Pb(N<sub>3</sub>)<sub>2</sub>/ és a durranóhiganyt /Hg(CNO)<sub>2</sub>/ gyújtóeszközök lőszerelésére használják, csekély mennyiségű anyag robbantása is előidézhetheti a vele közvetlenül érintkező brizáns robbanóanyag robbanását. **Brizánsnak** nevezik azokat a robbanóanyagokat, amelyeknél a maximális nyomás olyan gyorsan alakul ki, hogy lökeshullámot képez, és ennek következtében a környező vagy az érintkező anyagokon romboló munkát végez. Külső hatásokkal szemben lényegesen kevésbé érzékenyek, mint az iniciáló robbanóanyagok. Többnyire szilárd halmazállapotúak, de létezik folyékony, illetve gáz halmazállapotú típus is. Elterjedésük fő feltétele volt, hogy stabil állapotúak legyenek, ezáltal biztonságos szállítást és felhasználást tettek lehetővé úgy katonai, mint polgári helyzetekben. A brizáns robbanóanyagokat önállóan, vagy keverékként használják fel. A legelterjedtebb közülük a trinitrotoluol /TNT/, más néven trotil. Ezen kívül gyakori robbanóanyagok a teljesség igénye nélkül a hexogén /RDX/, a pentrix, a pikrinsav, a semtex és az ammóniumsálcetrom. Mind ipari eljárásokkal készült, magas hatóerejű robbanóanyagok. Kevésbé stabil, így veszélyesebb robbanóanyagok az egyszerű körülmények közt elkészíthető, kisebb terroristámadásokhoz is felhasznált vegyületek, például a HMTD, a TATP és az ANFO. Ezek többnyire kisebb hatóerejűek is az előzőeknél.

**Töltetnek** nevezzük a rombolási céllal, esetleg számításon alapuló robbanóanyag mennyiséget. A töltet fogalma magában foglalja az adott mennyiségű robbanóanyag **formáját és elhe-**

lyezését is. A forma befolyásolja a robbanóanyag által keltett lökeshullám terjedési jellemzőit, de ennek inkább csak a lokális vizsgálatoknál van jelentősége, például felhelyezett töltettel végzett nyílásrobbantáskor, továbbá a terroristatámadások általában nem egy darab adott formájú robbanóanyaggal készülnek, hanem a töltetet a gépjárműben elhelyezett több tíz robbanóttest összessége adja, ráadásul ezek minőségben és nagyságban is eltérnek egymástól.

### Arányosítási törvény

Általánosan elterjedt gyakorlat, hogy a különböző robbanóanyagok teljesítőképességét a TNT-hez viszonyítják. Így bevezetjük a **TNT egyenérték** fogalmát, amely megadja, hogy mekkora tömegű TNT-vel helyettesíthető az adott töltet, hogy ugyanazt a robbanási paraméter értéket kapjuk, mint az eredeti esetben. Itt fontos megjegyezni, hogy ez arányosítás többféle szempont szerint történhet, így különböző értékeket kapunk, ha például a maximális túlnyomást, a felszabaduló energiamennyiséget, fajlagos impulzust vagy éppen a pozitív fázis idejét akarjuk kalibrálni. A gyakorlatban legelterjedtebb arányosítás a robbanóanyagok **robbanáshőjén** alapul. Ennek képlete:

$$W_E = \frac{H_{\text{exp}}^d}{H_{\text{TNT}}^d} W_{\text{exp}}, \quad (5)$$

*CF*

ahol  $W_E$  a TNT tömeg egyenérték,  $W_{\text{exp}}$  az átszámítandó robbanóanyag tömege,  $H_{\text{exp}}^d$  az átszámítandó robbanóanyag robbanáshője,  $H_{\text{TNT}}^d$  a TNT robbanáshője. Praktikus bevezetni a két robbanáshő hányadosaként definiált **töltettényező** (CF), amely értékei táblázatokból kikereshetők. Álljon itt néhány példa [1][2][6]:

Robbanóanyag	Égéshő [kJ/kg]	Töltettényező (CF)
TNT	4520	1,00
RDX	5360	1,19
HMX	5680	1,26
60% RDX + 40% TNT	5190	1,15
Folyékony nitroglicerin	6700	1,48
Semtex	5660	1,25
Amatol 40/60	3703	0,82
ANFO	4113	0,91

2. táblázat Néhány robbanóanyagok töltettényezője [1][2][6]

## A LÖKÉSHULLÁM

### Modellegyenletek

A robbanási termékek gyors tágulása a környező közvetítő közegben (esetünkben ez mindig levegő lesz) lökeshullámot idéz elő, ahol ugrásszerűen megváltoznak a gáz állapotjelzői. melyek front előtti és front mögötti értékei közt a tömeg-, a lendület- és az energiamegmaradás egyenletei, kiegészítve a gáz állapotegyenletével teremtenek kapcsolatot. Ezek a **Rankine – Hugoniot egyenletek**, melyek egy dimenzióban az alábbi egyszerű alakba írhatók:

A tömegmegmaradás:  $\rho_2 \cdot (U - u_2) = \rho_1 \cdot u_1.$  (6)

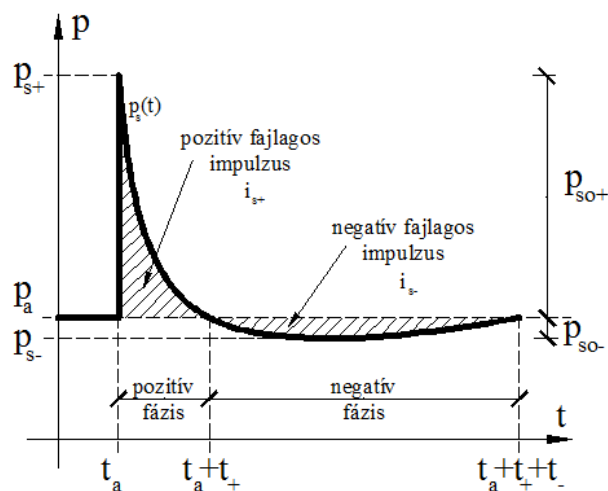
A lendületmegmaradás:  $p_2 - p_1 = \rho_1 \cdot u_1 \cdot U.$  (7)

Az energiamegmaradás:  $E_2 - E_1 = \frac{p_2 + p_1}{2} \cdot \left( \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2} \right).$  (8)

Az állapotegyenlet:  $p = (\gamma - 1) \cdot \rho \cdot E.$  (9)

### Időbeli nyomásprofil

A tér egy adott pontján áthaladó lökeshullám-front hatására kialakuló tipikus statikus nyomás<sup>6</sup> – idő diagram az alábbi ábrán látható:



1. ábra A lökeshullám keltette statikus nyomás - idő tipikus grafikonja a tér egy rögzített pontjában

A hullámfront megérkezési idejét  $t_a$ , a légkörinél magasabb nyomású fázis időtartamát  $t_+$  az alacsonyabbét  $t_-$  jelöli.  $p_a$  a légköri nyomás,  $p_{s+}$  az ugrásszerűen kialakuló maximális,  $p_{s-}$  pedig a minimális statikus nyomás. A lecsengés jó közelítéssel az alábbi alakú exponenciális függvénnyel írható le, ahol  $p_{so+}$  a légköri nyomáson felüli maximális statikus túlnyomás,  $b$  a függvény alakját befolyásoló paraméter, és az idő paraméter a hullám megérkezésétől indul.<sup>7</sup>

$$p_{so}(t) = \begin{cases} p_{so+} \cdot \left( 1 - \frac{t-t_a}{t_+} \right) \cdot e^{-\frac{b(t-t_a)}{t_+}} & \text{ha } t < t_a + t_+ \\ 0 & \text{ha } t \geq t_a + t_+ \end{cases} \quad (10)$$

TNT robbanás esetén, a pozitív fázis időtartamára a M. A. Szadovszkij kísérleti úton az alábbi összefüggést állapította meg [7]:

$$t_+ = \gamma \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{W_{TNT}} \cdot \sqrt{R}, \quad (11)$$

ahol  $R$  a robbanástól mért távolságot,  $W_{TNT}$  a töltet súlyát jelöli. A nyomáshullám jellemzésére

<sup>6</sup> A statikus nyomást az angol szakirodalom side-on pressure-nek is nevezi, mivel méréséhez, a műszereket a hullámfrontra merőlegesen kell elhelyezni ennek rögzítéséhez.

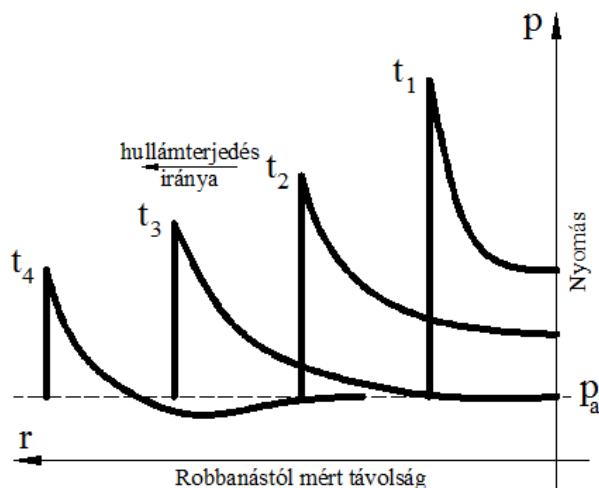
<sup>7</sup> A továbbiakban az egyszerűség kedvéért a légköri nyomáson felüli maximális túlnyomás értékére egyszerűen a túlnyomás fogalmát használom.



használt fő paraméterek ezek közül a statikus túlnyomás, a pozitív fázis időtartama, és ezeket kiegészítve a pozitív fázis fajlagos impulzusa, amelyet formálisan az alábbi integrál fejez ki:

$$i_{s+} = \int_{t_a}^{t_a+t_+} p_{so}(t) dt. \quad (12)$$

A negatív szakasz tovább tart, azonban kisebb intenzitású a pozitívnál. Ahogy a robbanás centrumától távolodunk, az egyre később megérkező hullámfront maximális pozitív túlnyomása csökken, a lecsengési idő megnő. Ezt vázlatosan a következő ábra szemlélteti:



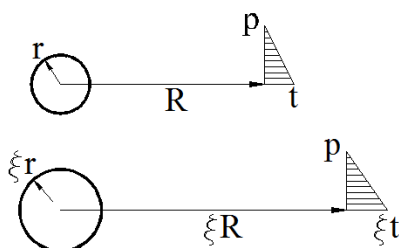
2. ábra A statikus nyomás grafikonja a robbanástól vett távolság függvényében különböző időpillanatokban

### Arányosított távolság

Az arányosított távolság bevezetésével a különböző lökeshullámok leírására elegendő egyetlen közös vonatkoztatási rendszer. A legegyszerűbb, és a tapasztalatokkal jól egyező, ezáltal a gyakorlatban legtöbbször alkalmazott ilyen transzformációt **Hopkinson – Crantz - féle köbgyökös arányosításnak** nevezik, és azt fejezi ki, hogy a robbanási paraméterek a töltet tömegének köbgyökével arányosan változnak. Ennek egyik legfontosabb eredménye, hogy a két különböző  $W_1$  és  $W_2$  töltet  $R_1$  és  $R_2$  távolságokban a robbanástól megegyező statikus túlnyomást produkál, ha köztük fennáll:

$$\frac{R_1}{\sqrt[3]{W_1}} = \frac{R_2}{\sqrt[3]{W_2}} = Z, \quad (13)$$

ahol  $Z$  az arányosított távolság. Ez szemléletesen a következő ábrán mutatható be:



3. ábra A Hopkinson – Crantz – arányosítás vázolata

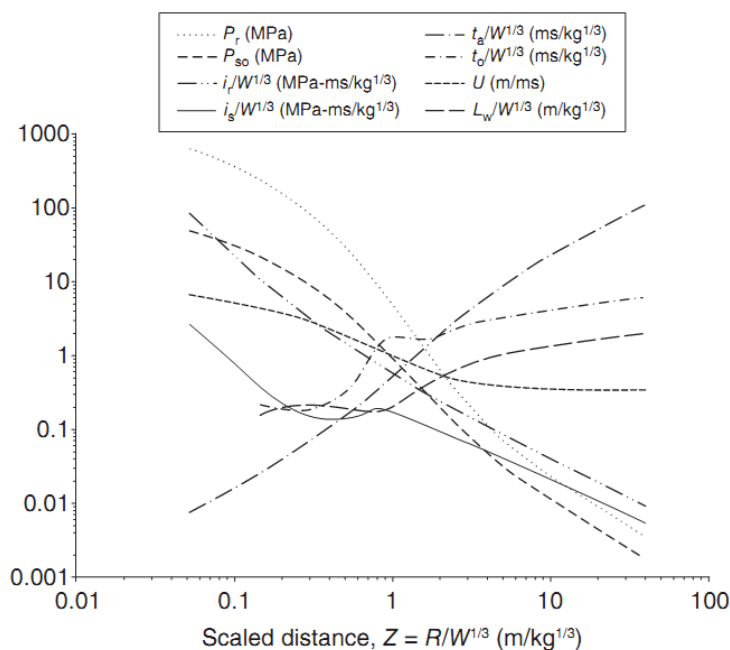
Tehát, ha a töltet sugarát  $x$ -szeresére növeljük, ezzel tömege  $x^3$ -szeresére nő. Ekkor az elmélet következtében azonos arányosított távolság esetén a vizsgált pontban a két elrendezés azonos túlnyomást produkál. Megjegyzendő, hogy a lecsengési idő viszont a második esetben  $x$ -szeresére nő, így a fajlagos impulzus nem marad állandó. A modell kiegészítve a felszabaduló energiára vetített TNT-egyenérték koncepciójával alkalmas különböző robbanóanyagok egyésített kezelésére is.

## Nomogramok

A TNT egyenérték és az **arányosított távolság** bevezetésével a lökéshullám fő paramétereinek térbeli alakulását egyetlen függvénycsoporthal írhatjuk le, melynek változója:

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W_E}}, \quad (14)$$

A levezetett összefüggéseket szabad térben bekövetkező gömbszerű és hengerszerű robbanás esetre nomogramok formájában megtalálhatjuk mind a pozitív, mind a negatív fázisra többek közt a [3] útmutatóban:



4. ábra A lökéshullám pozitív fázisának jellemzői tengerszinten szabad térben bekövetkező gömbszerű TNT robbanás esetére

Ahol az  $r$  index a falra merőlegesen beeső hullám visszaverődés utáni értékeit jelöli,  $L_w$  a pozitív fázis hossza. Több, kísérleti alapon meghatározott függvény is létezik, amelyekkel a nomogramok használata megkerülhető. Ezek általános alakja például a statikus túlnyomás és skálázott távolság kapcsolatára:

$$p_{so+} = A_0 + \frac{A_1}{Z} + \frac{A_2}{Z^2} + \frac{A_3}{Z^3}, \quad (15)$$

ahol  $A_i$ , ( $i=0,1,2,3$ ) a kísérletileg meghatározott paramétereket jelöli. Szadovszkij mérései szerint [7]:

	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Gömbyszerű terjedés	0	0,84	2,7	7
Félgömbyszerű terjedés	0	1,06	3,40	8,82

3. táblázat A statikus túlnyomás és skálázott távolság kapcsolatát kifejező együtthatók Szadovszkij mérései szerint [7]

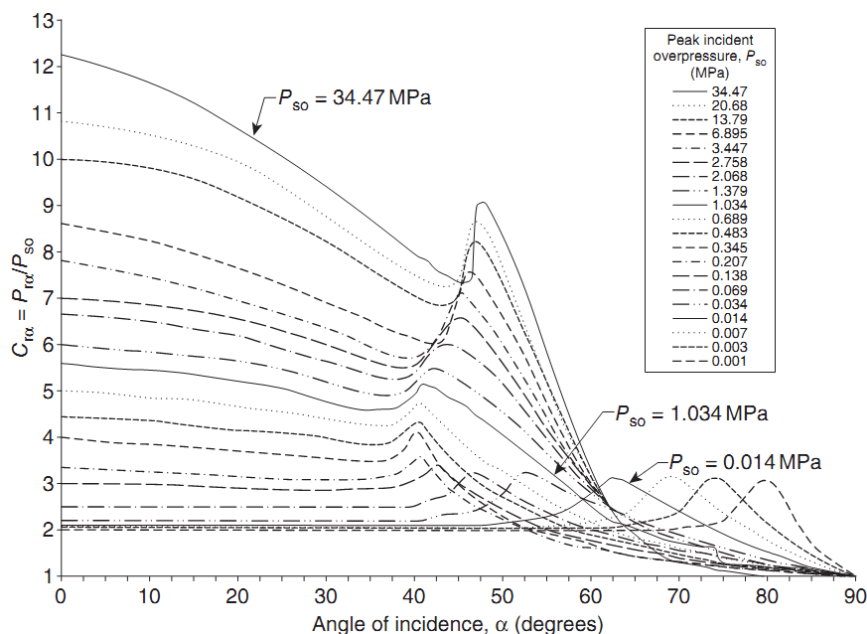
## HULLÁMJELENSÉGEK

Ebben a pontban elhagyjuk a nyílt térben terjedő hullám feltételezését, és a hullámfront útjába kerülő akadályok hatását kíséreljük meg leírni közelítő módszerekkel. A közelítés abban áll, hogy az akadályokat merevnek tekintjük.

### Reflexió

Ha egy hullám útjába akadályokat helyezünk, a lokális nyomás, ezáltal a testre ható teher, jelentős mértékben megemelkedik. Ez a növekedés erősen nemlineáris jelleget mutat és főleg a beeső hullám erősségétől (ennek gyakorlati mértéke a statikus túlnyomás) és a beesés szögétől függ. A következő ábra a visszavert hullám túlnyomásának ( $p_{ra}$ ) és a beeső hullám statikus túlnyomásának ( $p_{so}$ ) hányadosát, az úgynevezett visszaverődési tényezőt ( $C_{ra}$ ) ábrázolja a hullám terjedési irányának az akadály felületének normálisával bezárt, úgynevezett beesési szög, valamint a beeső hullámfront statikus túlnyomásának függvényében.

$$C_{ra} = \frac{P_{ra}}{P_{so+}} \quad (16)$$



5. ábra A visszaverődési tényező grafikonja a beesési szög és a beeső hullám statikus túlnyomásának függvényében [3]

A tényező maximális értékei merőleges beesés esetén állnak ellő, amire a klasszikus Rankine – Hugoniot egyenletek segítségével az alábbi elterjedt felírás adható:

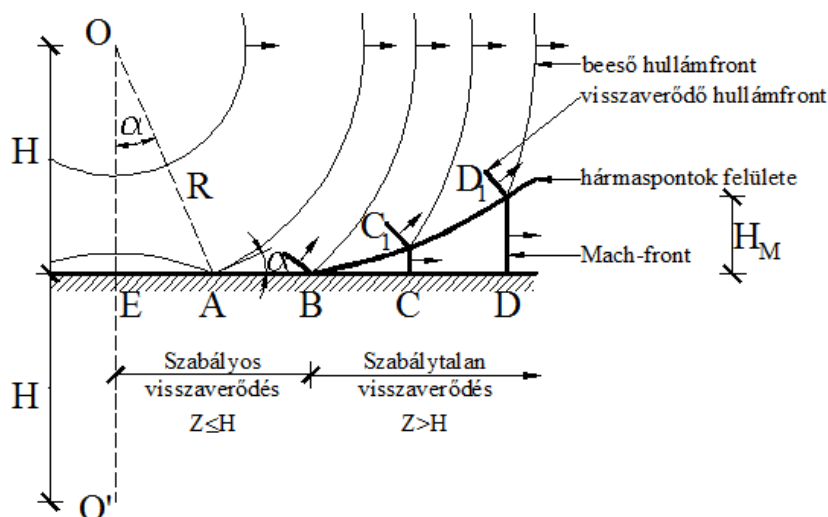
$$C_{ra} = 2 \frac{4 \cdot p_{so+} + 7 \cdot p_a}{p_{so+} + 7 \cdot p_a} \quad (17)$$

A képletből kiolvasható, hogy gyenge, akusztikushoz közeli lökeshullámok esetén a merőleges visszaverődés kétszeres nyomásnövekedést eredményez, ennek következtében a jelenség ekkor modellezhető egy „tükörtöltet” beiktatásának segítségével, amit az eredeti töltet fal síkjára való tükrözésével kapunk. A 17. egyenlet szerint, ha a lökeshullám erősségével a végtenhez tartunk, a nyomásnövekedés 8-szoros lehet. Ez ellentmond a grafikonon feltüntetett értékeknek. Ez abból a feltételből következik, hogy az 5. egyenlet levezetése során a közvetítő közeget ideális gáznak feltételeztük, vagyis az állandó nyomáshoz és az állandó térfogathoz tartozó fajlagos hőkapacitás aránya (adiabatikus kitevő) állandó, speciálisan a túlnyomó részben kétatomos molekulákból álló levegő esetében:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{f+2}{f} = \frac{7}{5} = 1,4. \quad (18)$$

Ez a feltételezés azonban nagyon erős lökeshullámok esetében, amikor a megemelkedett hőmérséklet (ez a jelenség 1500 K felett válik jelentőssé) a gáz molekulaszervezetét megváltoztatja, már nem helytálló, és a visszaverődési tényező akár 12 fölé is megnőhet.

Érdeemes még megfigyelni a függvények lefutásában 40° és 60° között megjelenő változásokat, amely az úgynevezett Mach - visszaverődés következménye, amikor is a Mach - szögnél nagyobb beesési szög esetén a visszavert hullám interferál a beesővel és a fal közelében egy megemelkedett nyomású légréteget hoz létre. Így a visszaverődési jelenség két zónára bontható a közeli szabályos, és a távolabbi szabálytalan visszaverődés zónájára, ahogyan azt az alábbi ábra is mutatja egy a talaj felett  $H$  magasságban felrobbanó töltet példáján keresztül.



6. ábra A Mach - hullámok kialakulása

## A ROBBANÁSTEHER

Ez a fejezet a robbanásból származó, az épületre ható teher tervezés során figyelembe veendő értékeinek meghatározásával foglalkozik. A robbanás okozta terhek kategorizálása után, bemutatom az idealizált lökésdiagram alkalmazásával történő egyszerűsített teherfelvétel módszerét.

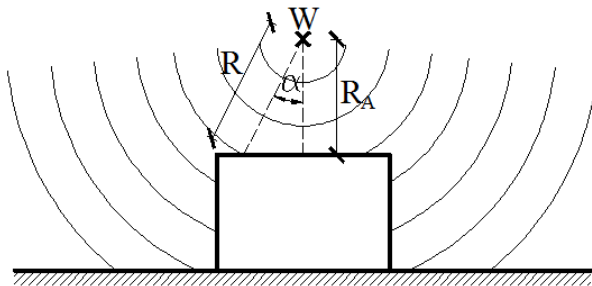
## Robbanási típusok

Viselkedése szerint az alábbi robbanási típusokat különíthetjük el:

Robbanási típusok			
Nyílt terű			Zárt terű
Szabad légterű	Korlátolt szabad légterű	Földközeli	
Gömbyszerű terjedés, nincs felerősítő hatás	Mach hullám	Félgömbyszerű terjedés	Többszörös visszaverődés
Levegőben robbantott atombomba	Légi bombák	Autóbomba	Térrobbanások

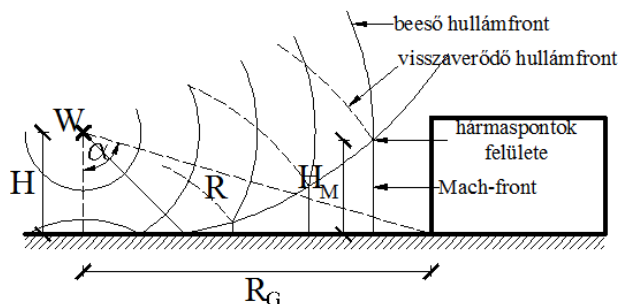
4. táblázat A robbanási típusok csoportosítása viselkedésük szerint

A **szabad légterű robbanás** esetén a lökeshullám gömbszimmetrikusan terjed, és nem szenved felerősítő hatást, amíg el nem éri a vizsgált felületet. Ilyen viselkedéssel írható le a levegőben felrobbantott atombomba. Ezt látható az alábbi ábrán:



7. ábra Szabad légterű robbanás

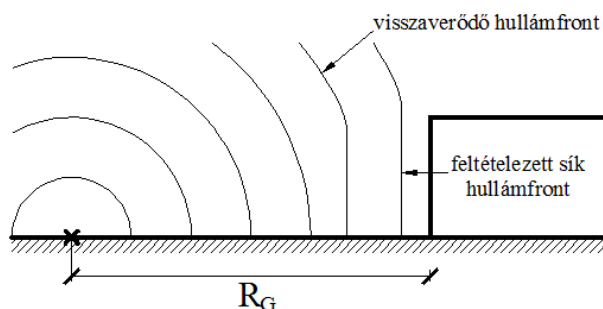
A **korlátolt szabad légterű robbanás** esetén a földről visszaverődő hullám hatására kialakul a Mach – visszaverődés, mielőtt még a front elérné az épületet. A [3] alapján azokat a robbanásokat tekinthetjük ilyen esetnek, amikor a robbanás egy 1-2 emeletes ház magasságának kb. háromszoros magasságában történik. Speciális rendeltetésű légi bombák vagy repülő szerencsétlenségek tartozhatnak ebbe a kategóriába.



8. ábra Korlátolt légterű robbanás

**Földközeli robbanás** esetén a robbanás közvetlenül a talaj felszínén történik, a lökeshullám félgömbszerűen terjed, amelyet felerősít a földről való visszaverődés. A lökeshullám energiája így megközelítőleg 1,8-szorosa a szabad légterű robbanásnak. Ha a talajt teljesen merev visszaverő felületnek tételezzük fel, és nincs kráterképződés, akkor az értékek pontosan 2-szer akkorák lennének, mint a szabad légterű robbanásnál. A különbséget elég a túlnyomási csúcsértéknél, a származtatott mennyiségek azzal együtt változnak. Közelítésképp a sík hullámok modelljét alkalmazhatjuk, ami egyenletes nyomást fejt ki a homlokfalra. Ez a közelítés meg-

tehető, mivel egy általános magasságú épületnél a felsőbb szintek nyomásának késése ezredmásodpercekben mérhető, ami a  $t_+$  lecsengési időhöz képest kicsi. A terroristatámadások például az autóbombák főleg ebbe a csoportba tartoznak. A modellt a következő ábra szemlélteti:

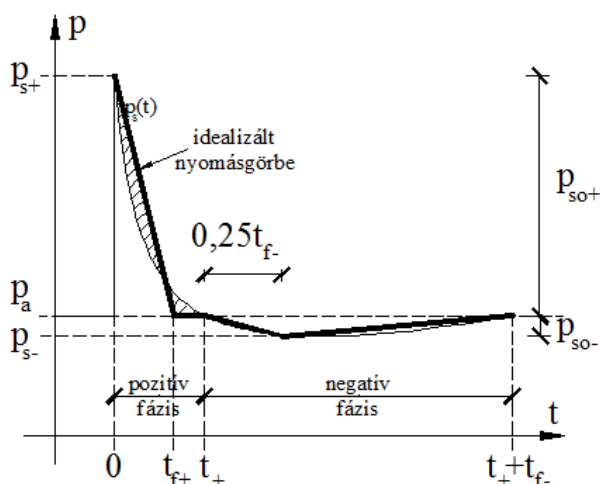


9. ábra Földközeli robbanás

### Idealizált lökésdiagram

A továbbiakban a föld közeli robbanásokat vizsgálom részleteiben. Ennél az esetről megjegyzendő, hogy a robbanás a talajban földrengésszerű hullámokat produkál, amiből gyorsulások számíthatók az épület alapjánál, azonban ennek hatása csekély, így ezen a szinten elhanyagoljuk.

A teher számításához ismernünk kell a lökéshullám túlnyomási csúcsertékét, a fajlagos impulzusmennyiséget, a dinamikus nyomást és a lecsengési időket. Hogy ezt megtehesük, első lépésben létre kell hozunk egy idealizált nyomásgörbét, amely az alábbi ábrán látható:



10. ábra Földközeli robbanás idealizált nyomásgörbéje [3]

A dinamikus nyomás maximuma a Rankine – Hugoniot - egyenletekből meghatározható, értéke:

$$q_o = \frac{5}{2} \cdot \frac{p_{so+}^2}{p_{so+} + 7 \cdot p_a} \quad (19)$$

Az idealizált lecsengési időket mind a pozitív, mind a negatív fázisra a valódi és az idealizált diagramok alatti terület egyenlőségének feltételéből kapjuk:

$$t_{f+} = 2 \cdot \frac{i_{s+}}{p_{so+}}, \quad t_{f-} = 2 \cdot \frac{i_{s-}}{p_{so-}} \quad (20)$$

A pozitív fázis idealizált lecsengési ideje az eredeti függvény konvex volta miatt biztosan kisebb lesz a valóságosnál, így az idealizált diagram ezen a szakaszon zérusértékű lesz.

### Nyílások nélküli, téglatest alakú épület terhei

Ebben a pontban egy egyszerű épületre ható földközeli robbanásterhek meghatározásával foglalkozunk. Egyszerűsítésként feltesszük, hogy a robbanás kellően távol történt az épülettől, vagyis az azt érő hullámok görbülete elhanyagolható, így a teljes felületre azonos nyomás hat, továbbá, hogy az épület alacsonyabb a síkhullám magasságánál.

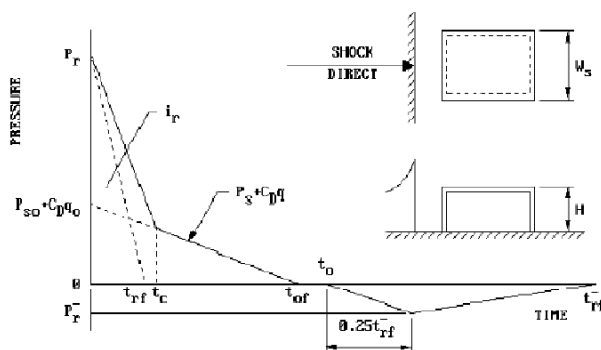
A teher négy részből tevődik össze:

- a túlnyomási csúcserőből származó erőkből;
- a dinamikus nyomásból származó erőkből;
- a visszaverődésből származó többlet erőkből és
- a negatív túlnyomásból származó erőkből.

Az épület geometriája nagyban befolyásolja a fenti négy terhelési csoport jelentőségét. Vizsgáljuk külön az épület határoló falaira jutó terheket.

### Homlokfal terhei

Ennek az esetnek a vázlatja az alábbi ábrán látható:



11. ábra Homlokfalra ható nyomás időtörténete [3]

Azzal a feltevessel élünk, hogy a hullámfront merőlegesen éri a homlokfalat. Ekkor a már megismert visszaverődési jelenség következik be, és a homlokfalon kialakuló statikus túlnyomás a visszaverődési tényező értéke szerint megnövekszik. A visszaverődés hatásának leépülési idejét  $t_c$ -vel jelöljük. A hullámfront megérkezése után ennyi idő elteltével áll vissza a túlnyomás értéke arra, amit a statikus túlnyomás és a dinamikus nyomás összege adna. Innen lineárisan csökken a nyomás, amíg a már ismertetett módon kiszámított idealizált lecsengés időtartama nulla nem lesz. A negatív fázis első negyedben a túlnyomás tovább csökken  $p_r$ -értékre, majd visszaáll zérusra. A  $t_c$  az időtartam, ami alatt a hullám megkerüli az épületet, vagyis közelítően [1]:

$$t_c = \frac{3 \cdot S}{U}, \quad (21)$$

ahol  $S$  a homlokfal magasságának vagy szélességének fele közül a kisebb. Ezután a falra ható nyomást a statikus nyomás és a dinamikus nyomás egy  $C_D$  formatényezővel (négyzet esetén ez 1-re vehető) szorzott értékének összege adja. A pozitív szakaszon a nagyon kis időtartamok

és a  $t_c$ -re felírt képlet közelítő volta miatt el kell végeznünk egy ellenőrzést, miszerint az átadódó pozitív fajlagos impulzus nem lehet nagyobb a végtelen síklap esetén kialakuló értékénél, amelyet a 4. ábra nomogramjából kaphatunk. Ha a végtelen síklap mégis kisebb értéket ad, akkor ezzel a modellel folytatjuk tovább a számítást és az előző bilineáris diagram helyett egyszerű háromszög alakot alkalmazunk az alábbi idealizált lecsengési idővel:

$$t_{rf+} = 2 \cdot \frac{i_{r+}}{p_{r+}} \quad (22)$$

A negatív fázis lecsengési ideje hasonlóan számítható:

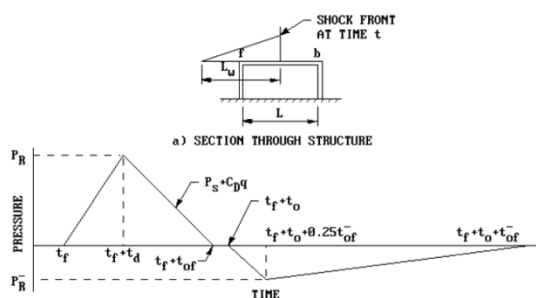
$$t_{rf-} = 2 \cdot \frac{i_{r-}}{p_{r-}} \quad (23)$$

Ha a homlokfal a hullámfront terjedési irányával a szöget zár be, akkor egyszerűen  $i_r$  helyett  $i_{ra}$ ,  $p_r$  helyett  $p_{ra}$ -val számolhatunk.

### Oldal- és hátfal, valamint a tető terhei

Az oldalfalak és a tető terhei a lökeshullám hosszának ( $L_w$ ) ismeretében határozható meg.

Az egyes falszakaszok minden pontjára előállítható egy idealizált terheléstörténet, amely feltételezve, hogy a fal nem túl hosszú a lökeshullámhoz viszonyítva (ezt az elől és hátul kialakuló túlnyomás maximumok összehasonlításával dönthetjük el), jó közelítéssel azonos az egész felületre.



12. ábra Oldalfalra és tetőre ható nyomás időtörténete [3]

A [3] bevezet egy  $C_E$  tényzöt, amely a falhossz és a lökeshullám hosszának arányától függ, és a  $p_r$  kalibrálására szolgál. A dinamikus nyomás formatényezőjére a [3] az alábbi értékeket javasolja:

A dinamikus nyomás csúcsértéke	Formatényező
[psi]	[-]
0-25	-0,4
25-50	-0,3
50-130	-0,2

5. táblázat A formatényező a dinamikus nyomás csúcsértékének függvényében [3]

Azonban a széltehernél megszokott formulák és zónafelosztás is alkalmazható. A felszökési ( $t_d$ ) és az idealizált lecsengési idő ( $t_{f+}$ ) a szintén meghatározható [3] segítségével.

Hátsó fal esetében az eljárás hasonló az előzőekhez az ott érvényes tényezőkkel számolva.



Ha az előzőekben bemutatott módszereknél pontosabb eljárásokra van szükség, esetleg komplex, új jelenségeket szeretnénk kezelni, elkerülhetetlen, hogy áttérjünk a numerikus megoldásokra.

Két szintet különböztetünk meg, az elsőt **szemi-empirikusnak** nevezik, melyek többnyire sugárkövetéses algoritmusokat használnak. Ezzel csak egyszerű geometriájú, merev peremekkel rendelkező problémák kezelhetők megfelelő pontossággal, de az általános tervezéshez ez többnyire elegendőnek bizonyul.

A második szintet a **numerikus differenciálegyenlet megoldók** jelentik. A komplex vizsgálatokhoz itt már a hullámot közvetítő közeg – d ami többnyire folyadék vagy gáz – és a szilárd szerkezet kölcsönös egymásra hatását is figyelembe tudjuk venni. A probléma rendszerelméleti megközelítésével két választási lehetőségünk adódik. Kezelhetjük a teljes rendszert egy egységként, vagy különböztetve célszerűen a két kölcsönható fázisra. A gyakorlat szinte kizárólag ez utóbbit alkalmazza, mivel nem igényel feladatspecifikus megoldóeljárásokat, mint az első, és mindkét alrendszerhez a neki legmegfelelőbb numerikus megoldóeljárás rendelhető. Például a szilárd fázis egyensúlyi differenciálegyenlet-rendszerét a **végeselemek módszerével** (FEM), míg az áramlási tér transzportegyenleteit a **véges térfogatok módszerével** (FVM) kezelhetjük. Ha alrendszerekre bontjuk a feladatot, akkor biztosítanunk kell a köztük lévő kommunikációt, esetünkben ezt **fluid structure interactionnek** (FSI) nevezik. Erre is két lehetőségünk adódik. Az első az úgynevezett **egyirányú kapcsolat** (weak coupling), amely egyirányú kommunikációt biztosít az alrendszerek közt, praktikusán a gáz nyomását átadja a szilárdtest megoldónak peremfeltételként, de az ennek következtében fellépő deformációk már közvetlenül nem hatnak vissza az áramlási térre. Akkor alkalmazandó, amikor az egyik rendszer dominálja a másikat. A másik változat **kétirányú kapcsolást** (strong coupling) biztosít, ezáltal jóval nagyobb számítási igénye is lesz. Ekkor az áramlási tér megoldása során a peremeken kapott feszültségek a szilárd test változó peremfeltételeit jelentik, míg annak elmozdulásai az áramlási tér változó peremfeltételeit adják. Megemlítendő, hogy ha a szilárd testeket a modellezés során merevnek tekintjük, akkor tipikusan a valóságosnál nagyobb teherértékeket kapunk, vagyis a biztonság javára térünk el. Fontos megjegyezni, hogy a robbanások numerikus kezeléséhez a folyadékdinamikában megszokott egyenleteket ki kell egészíteni a robbanóanyag állapotegyenletével, amelynek paramétereit meghatározni fáradságos munka lehet.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk hasznos eszközként szolgálhat a katonai és az építőmérnöki területen mozgó szakemberek számára. Gyors és hatékony eszközt ad a kezükbe mind a már meglévő épületek robbanással szembeni biztonságának megítélésének, mind az új épületek robbanással szembeni tudatos tervezésének első lépéscsokján, a **terhek közelítő becslésében**.

A **robbanóanyagok** egyenértékűsítési módszerével és az arányosított távolság bevezetésével szabványosítani tudtuk a **robbanás jelenségét**, a szabadon terjedő **lökéshullám** jellemzőit megismerve kiválasztottuk az épületekre kifejtett terhelés szempontjából meghatározó para-

métereket (statikus túlnyomás, lecsengési idő, fajlagos impulzus), ezek után a hullám útjába kerülő merev akadályok hatását elemezve bevezettük a **visszaverődési** együtthatót és felismertük a Mach - visszaverődést. A robbanások csoportosítását követően a szándékos robbanások szempontjából legfontosabb nyílt terű, földközeli robbanások példáján keresztül útmutató jelleggel, érintőlegesen felvázoltam a **terhek felvételét** jelentő szabvány szintű eljárás néhány lépését.

A dolgozat  **hazai előírások hiányában** erőteljesen támaszkodik a témában élenjáró és eddig a legszélesebb körű vizsgálatokkal bíró, az Amerikai Védelmi Minisztérium által elkészített, kiadványokra. Egyben a figyelmet is felhívva a téma hazai viszonyok közt elhanyagoltságára.

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások. „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] G. C. MAYS, P. D. SMITH: Blast effects on buildings, Thomas Telford, London, 1995, ISBN: 0-7277-2030-9
- [2] ROMÁN Zsolt: Épületen kívüli robbanások modellezése és vázas épületen való alkalmazása Diplomamunka 2010 Budapesti Műszaki Egyetem
- [3] U.S. Department of Defense: TM 5-1300 Structures to resist the effects of accidental explosions, 1990
- [4] U.S. Department of Defense: UFC 4-010-01 Minimum antiterrorism standards for buildings, 2012
- [5] C. E. NEEDHAM: Blast waves, Springer, Berlin, 2010; ISBN: 978-3-642-05287-3
- [6] M.Y.H. BANGASH, T. BANGASH: Explosion-Resistant Buildings, Springer, London, 2006; ISBN: 978-3-540-20618-7
- [7] VARGA József: Robbantás és műszaki zárás, Zrínyi Miklós Katonai Akadémia, Műszaki Tanszék, 1983



**Orbán József<sup>1</sup>**

## **A KIVIZSGÁLÁSTAN MŰSZAKI ÉS ELJÁRÁSJOGI ASPEKTUSAI**

Az oldalszámozás megőrzése érdekében a cikk helyét üres oldalak helyettesítik.

---

<sup>1</sup> HungaroControl Zrt. CNS és műszaki rendszerek igazgatóság igazgatója, [jozsef.orban@hungarocontrol.hu](mailto:jozsef.orban@hungarocontrol.hu)

































Padányi József<sup>1</sup>

## AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ÉS A KATONAI ERŐ VISZONYRENDSZERE A NEMZETKÖZI KUTATÁSOK TÜKRÉBEN<sup>2</sup>

*Számos ország indított kutatásokat annak tisztázására, hogy az éghajlatváltozás milyen hatással van az adott ország biztonságára, illetve a biztonság garantálásának egyik fontos eszközére, a katonai erőre. Az eddigi kutatási eredmények egy irányba mutatnak: a katonai erő egyrészt okozója, másrészt elszenvedője az éghajlatváltozás hatásainak. Az is egyértelművé vált, hogy az éghajlatváltozásnak vannak olyan következményei, amelyeknek kezelése megköveteli a katonai erő alkalmazását. Az alábbiakban – kiragadva néhány országot – összefoglaljuk azokat az eredményeket, amelyeket a kutatások hoztak, és amelyek általánosítható következtetések levonására alkalmasak.*

### **THE RELATIONS BETWEEN THE CLIMATE CHANGE AND MILITARY FORCE FROM THE VIEW OF INTERNATIONAL RESEARCH EFFORTS**

*Many countries launched researches to analyze how climate change is affecting the security of the given country and in the same time its important guarantying tool: the military force. The so far existing research results are going into one direction: from one side military force is the cause of it, from the other side it is suffering of its effects. It became also clear; that climate change has got such kind of effects too, which management has to include the usage of military force. In the following – through the examples of some countries – those results will be summarized, which were produced by these researches, and which can be used to produce some general conclusions.*

A vészharangot az **Egyesült Államokban** kongatták meg, amikor tekintélyes katonai szakértők a globális felmelegedést komoly veszélyként értékelték az Egyesült Államok biztonságára nézve. A tanulmány „A nemzeti biztonság és a klímaváltozás fenyegetése” címet viseli, és azokkal a kockázatokkal foglalkozik, amelyek a felmelegedés hatása nyomán az Egyesült Államok biztonsági érdekeit érintik. [1]

A katonai szakértők szerint a politikailag instabil régiókban az éghajlatváltozás egyértelműen segítené a szélsőséges erőket és a terrorizmust. A tanulmány a klímajelentések prognózisaira támaszkodik, amelyek szerint a globális felmelegedés súlyosabb viharokat, szárazságot és áradásokat okoz majd, valamint az Északi- és déli-sarki jégpáncél, a gleccserek olvadása megemeli a világtengerek vízszintjét. Az egyik következmény a tömeges elvándorlás lehet, ami az államhatárokon okozhat feszültséget és konfliktusokat, míg a másik a nemzetközi mentő alakulatok – benne a hadsereg erői és eszközei – egyre intenzívebb igénybevétele. Ezzel párhuzamosan harcok robbanhatnak ki az ivóvíztartalékokért is.

A szerzők szerint ezekből a forgatókönyvekből az következik, hogy az amerikai hadsereg az eddigénél sokkal több és összetettebb feladat vár. Rávilágítanak arra is, hogy a megváltozott körülményekhez a katonai erő – tekintve méreteit és meglévő eszközeit, állandó bázisait – nehezen alkalmazkodik. Példaként az Északi-sarki körzetében bekövetkezett változásokat mutatják be, amelyek már most átalakították a hajózási útvonalak egy részét, így jelentősebb ha-

<sup>1</sup> ddtbk., egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: dr. Földi László egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, foldi.laszlo@uni-nke.hu

ditengerészeti kapacitásokat igényelne az Egyesült Államok itteni érdekeinek védelme.

Ugyancsak súlyos veszélyt jelent a korszerű fegyverrendszerekre és a katonai bázisokra a szélsőséges időjárás (forróság, intenzív csapadék) okozta hatás. Példaként említi a jelentés az Egyesült Államok Diego Garcia-i támaszpontját, amelynek működését a tengerszint további emelkedése (eddig több mint egy méter) megnehezíti, rosszabb esetben ellehetetleníti. 1992-ben az Andrew-hurrikán úgy megrongálta az egyik légitámaszpontot Floridában, hogy a mai napig sem működik. 2004-ben az Ivan-hurrikán közel egy évre kiiktatta a Pensacola légibázist.

Az amerikai politikai gondolkodásban is fordulatot jelezhet, hogy a katonai körök az Egyesült Államok biztonságát fenyegető kockázatnak tekintik a légkör melegedését. A The New York Times ezekre a forrásokra hivatkozva a minap egyenesen azt írta, hogy az éghajlatváltozás a következő évtizedekben várhatóan mélyreható stratégiai kihívások elé állítja az Egyesült Államokat. Az éghajlati eredetű válságok miatt kormányok bukhatnak meg, terrorista mozgalmak alakulhatnak ki, és hatalmas térségek destabilizálódhatnak – állítják elemzők, az amerikai védelmi minisztérium és hírszerző ügynökségek szakértői, akik most először foglalkoznak komolyan az éghajlatváltozás lehetséges biztonsági következményeivel.

Az utóbbi időben számítógépes szimulációk és felderítő ügynökségek tanulmányai egyaránt arra a következtetésre jutottak, hogy a következő 20-30 évben a sérülékeny régiókban, különösen a Szaharától délre fekvő afrikai országokban, a Közel-Keleten, Dél- és Délkelet-Ázsia térségében számolni kell az éghajlatváltozás okozta élelmiszerhiánnyal, vízellátási válságokkal és katasztrófális árvizekkel, amelyek amerikai humanitárius segítséget vagy katonai választ tesznek szükségessé. A National Defense University azt modellezte, milyen következményekkel járna egy Bangladesben pusztító hatalmas árvíz, amelynek következtében több százezer ember özönlene a szomszédos Indiába. Regionális konfliktus alakulna ki, fertőző betegségek terjednének, és súlyos kár keletkezne az infrastruktúrában.

A globális felmelegedésről zajló vita eddig főleg arra összpontosult, hogy milyen módon lehet kiváltani a fosszilis üzemanyagokat, hogyan lehet csökkenteni az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását, és miként lehet ösztönözni a nemzetközi klímaegyezmény kidolgozására irányuló tárgyalásokat. Mára azonban mind több politikaformáló személyiség jutott arra a következtetésre, hogy a növekvő hőmérséklet, a tengerek emelkedő szintje és az olvadó gleccserek közvetlenül veszélyeztetik a nemzeti érdekeket. Amennyiben az Egyesült Államok nem jár élen abban, hogy a világ csökkentse fosszilis üzemanyag-fogyasztását és ezzel a globális fölmelegedést okozó gázok kibocsátását, olyan globális környezeti, társadalmi, politikai és akár katonai válságok körvonalazódhatnak, amelyekkel az országnak sürgősen foglalkoznia kell – hangoztatják e nézet hívei.

Hillary Clinton külügyminiszter szenátorként sürgette, hogy a kongresszus vegye figyelembe a klímaszemponyokat a stratégiai tervezésben. A tárca klímamodellje az amerikai haditengerészet és légierő időjárási programjait és más kormányzati klímakutatásokat vesz alapul. A Pentagon és a külügyminisztérium már évek óta tanulmányozza a külföldi energiaforrásoktól való függőségből adódó problémákat, de csak most kezdi belefoglalni a fölmelegedés következményeit a hosszú távú tervezésbe. A Pentagon klímafejezetet dolgozott be a négyéves védelmi programba, a külügy is hasonló fejezetet készít a maga párhuzamos programjában. Bár a katonai és felderítési tervezők már néhány éve tudatában vannak az éghajlatváltozás okozta kihívásnak, csak az

Obama-kormányzat kezdte azt politikájának központi kérdéseként kezelni.

A National Intelligence Council, amelynek keretében az amerikai felderítő ügynökségek egyeztetnek, tavaly arra a következtetésre jutott, hogy az éghajlatváltozás okozta viharok, szárazságok, élelmiszerválságok számos szükséghelyzetet fognak teremteni. Az elkerülhetetlen segélyakciók komolyan megterhelhetik az amerikai katonai szállító- és támogató kapacitásokat, csökkenthetik a harci műveletekhez szükséges stratégiai mélységet. Mindez kihat a nemzetközi hatalmi erőviszonyokra is.

Anthony C. Zinni, a haditengerészet központi parancsnokságának volt főnöke egy jelentésében annak a véleményének adott hangot, hogy az éghajlatváltozásért – így vagy úgy – fizetni kell. „Vagy most fizetünk az üvegházhatású gázkibocsátások csökkentéséért, és vállaljuk az ezzel járó gazdasági megterhelést. Vagy később fogjuk megfizetni a következmények katonai árát, és ez emberéletek kioltásával jár majd” – idézte a tábornokot a The New York Times. [2]

## EGYESÜLT KIRÁLYSÁG

Az Egyesült Királyság Éghajlatváltozási Programját 2006-ban fogadták el. Az ebben meghatározott elvek és célkitűzések mentén fogalmazta meg véleményét a hadsereg vezérkari főnöke Jock Stirrup tábornok: „A klímaváltozás szokatlan és zavarba ejtő kihívás a katonai erőnek, a megszokott a katonai kihívásokhoz képest. A felmelegedés és a csapadékváltozás különösen nehéz helyzetet okoz az élelmiszer és vízellátásban olyan területeken, mint Szudán és Afrika más részei. Ez destabilizálja ezeket a vidékeket, ami zavargásokhoz, végső soron a katonai erő alkalmazásához vezethet. Ezen túlmenően a hadseregnek mint szén-dioxid kibocsátónak is van feladata, hiszen az ország összes kibocsátásának 1%-áért a haderő a felelős. Fogyasztóként a védelmi szféra évente 32 milliárd dollár értékben használ fel elektromos energiát, ami ugyancsak csökkenthető megfelelő fejlesztésekkel, energiatakarékos megoldások bevezetésével, valamint a kiképzési módszerek és eszközök átgondolásával. Célunk az, hogy 2012-ig a védelmi szféra kibocsátását 30%-al csökkentsük. [3]<sup>3</sup>

A haderőnek arra is fel kell készülnie, hogy a megszokottnál melegebb környezetben hajtsa végre feladatait, ami a katonákra és az eszközökre egyaránt nagyobb terhet ró. Ugyanakkor az újrahasznosítható energia felhasználása katonai előnyökkel is járhat. Például a napenergia felhasználása csökkentheti az egyébként potenciális célpontnak számító utánszállító konvojok számát egy-egy misszióban.” [4]

---

<sup>3</sup> Ez meglehetősen ambíciózus cél, különösen annak fényében, hogy az Egyesült Királyság Éghajlatváltozási Programja 2010-re a szén-dioxid kibocsátást — országos szinten — 20%-ban határozta meg. Részletesen: Rácz Réka Magdolna: Az Egyesült Királyság Éghajlatváltozási Programjáról. Hadtudományi Szemle 2008/1. 1. o. <http://hadtudomanyiszemle.zmne.hu/?q=hu/2008/1-evfolyam-1-szam/altalanos/az-egyesult-kiralysag-eghajlatvaltozasi-programjarol> 2008. 8. 21.



## KANADA

A globális felmelegedés hatására 2007 nyarán újra járhatóvá vált az Európa és Ázsia közötti legközvetlenebb hajózási útvonal, a legendás Északnyugati-átjáró. A műholdas mérések kezdete, közel 30 év óta az Atlanti- és a Csendes-óceánt összekötő Északnyugati-átjárót egész évben jég borította. Az Európai Űrügynökség műhold felvételeken alapuló adatai szerint a jégtakaró rohamosan zsugorodik, a nyári felmelegedés pedig annyira megolvasztotta a jeget, hogy az útvonal hajózhatónak nyilvánítható, ami egyben a globális felmelegedés komolyságát is jól példázza. Az északi sarkvidék egyike a Föld legnehezebben megközelíthető területeinek, ezért nincsenek komolyabb adatbázisaink a műholdak megjelenése előtti időszakokról. Az útvonal megnyílása a környezeti kérdéseket megelőzve máris politikai viták tárgya lett. Kanada teljes jogot akar formálni az Északnyugati-átjáró azon területeire, ami áthalad az országon, ahol korlátozhatná is az átmenő forgalmat. Az ötlet nem nyerte el sem az Európai Unió, sem az Egyesült Államok tetszését, mivel szerintük az új útvonalat nemzetközivé kellene nyilvánítani, amit bármilyen felségjelzésű vizijármű használhat.

Az Északnyugati-átjáró megnyílása kapcsán több olyan katonai probléma is felmerült, amelyek gyors megoldásra várnak. Mind az Egyesült Államok, mind Kanada most döbbsen rá arra, hogy a körzetben lévő haditengerészeti és légi támaszpontjai korlátozottan alkalmasak a katonai jelenlét demonstrálására.

Az amerikai katonai szakértők egyrészt azon sopánkodnak, hogy a legközelebb lévő katonai bázis, Thule – felszereltsége és egyezményes státusza miatt – minimális befolyással van az Átjáró helyzetére és forgalmára, másrészt az Egyesült Államok jelenléte inkább csak jelképes, hiszen hadihajói távolabbi bázisokon állomásoznak. A kanadai haditengerészet a bázisok kikötőinek mélyítését és északi járőrhajók hadrendbe állítását szeretnék. [5]

## OROSZORSZÁG

Az arktiszi államok regionális katonai jelenlétének gyökerei a hidegháborús korszakra vezethetők vissza. A kérdéssel kapcsolatban az Arktisz fontossága az 1950-es években vált egyértelművé, amikor Alexander P. de Seversky megalkotta az Északi-sarkot középpontba állító térképét. A térkép hatására az Egyesült Államok közvéleménye megdöbbsen, és egyértelműen nyilvánvalóvá vált az északi védelmi vonalak jelentősége. A hidegháború végével az északi katonai eszköztár fejlesztése leértékelődött, a térségben érintett államok más területen modernizálták hadseregüket. Kivételnek számít Oroszország, amely – az északnyugati partjainál viszonylagosan állandónak tekinthető hajóforgalom következtében – az ezredforduló után több új jégtörőt is rendelt. [6]

A Jeges-tengeren meghatározónak számít a jégtörők és a tengeralattjárók jelenléte. Fontosságuk kézenfekvő, hiszen az államok a segítségükkel képesek szuverén hatalomként megjelenni a téli hónapokban, valamint a kontinentális talapzat vizsgálatához, és kutatási expedíciókhoz is elengedhetetlen a két eszköz. A katonai jelenlét elkerülhetetlen a térségben az északi vizeken való járőrözés, a halászat felügyelete, a kutató-mentő (search and rescue, SAR) feladatok ellátása, és a természet megóvása érdekében.

Az északi katonai potenciál szempontjából Moszkva egyértelműen előnyben van a többi ál-

lamhoz képest. Három flottájából az Északi Flotta a legerősebb, és a legtöbb hajóval és tengeralattjáróval rendelkező egység.<sup>4</sup> A fentebb már említett, az orosz kormány által kiadott északi stratégia ráadásul különleges, arktiszi speciális erők létrehozásáról döntött, amelyek feladata az orosz biztonsági érdekek és az északi határterületek infrastruktúrájának védelme lesz.[8]

Moszkva emellett Helsinkivel közösen együttműködve jégtörők fejlesztésén dolgozik azzal a nem titkolt céllal, hogy később technológiát vagy hajókat exportálhassanak. Oroszország elsődleges célja lehet, hogy megerősítse katonai dominanciáját a térségben. Az orosz légtérsétekről szóló, évente több alkalommal megjelenő hírek szoros összefüggésben állnak a folyamatos légi hadgyakorlatokkal. Vlagyimir Putyin, korábbi orosz államfő egy 2007. augusztusi döntésének következményeként indították újra a jeges-tengeri légi gyakorlatozást. Oroszország északi flottája modernizálását is szem előtt tartja, az utóbbi hónapokban erről több hír is megjelent, északi atom- és kém-tengeralattjárók állnak jelenleg is felújítás alatt (az Északi Flotta legfontosabb kikötője Szeveromorszk, művelési területei a Jeges- és a Földközi-tenger, valamint az Atlanti-óceán). Időközben az egyetlen orosz repülőgép-hordozó, a flotta egyik hajójának, az 1985-ben gyártott Kuznyecov admirálisnak a felújítása is felmerült, a munkálatokat 2012-ben szeretnék elkezdni.<sup>5</sup>

## AZ ÉGHAJLAT BEFOLYÁSOLÁSA KATONAI ESZKÖZÖKKEL

Az eddigiekben az éghajlatváltozás okozta hatásokról beszéltünk, de nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy számos esetben maga az ember is megpróbálja uralma alá hajtani az időjárást. A legtöbb esetben katonai célok húzódnak meg a kísérletek mögött, így azokról meglehetősen kevés információval rendelkezünk. Az sem véletlen, hogy azok az országok folytatnak előrehaladott kutatásokat ezen a területen, amelyek a legkorszerűbb kutatási feltételekkel rendelkeznek. Egyes szakírók azt vizionálják, hogy a 21. század a természeti hadviselés évszázada lesz.<sup>6</sup> Érdekes adalék, hogy ez a megközelítés eddig egyetlen klímacsúcson, vagy ezzel foglalkozó tanácskozáson sem megfelelő kapott figyelmet.

A jó hadvezérek mindig figyeltek az időjárásra és igyekeztek azt a saját előnyükre kihasználni. A katonai műveletek tervezésénél számoltak a csapadékkal, a hőmérséklettel, a napszakkal, a fényviszonyokkal, az évszakok sajátosságaival. Nem egy esetet ismerünk a hadtörténelemből, amikor csaták vagy hadjáratok dőltek el a gondos tervezés, az időjárás ismerete miatt.<sup>7</sup>

Az első ismert, nagyobb jelentőségű katonai kísérlet a CIRRUS projekt volt, 1947-ben, amivel az USA a hurrikán mesterséges létrehozását célozta meg. Vietnámban már célzott alkalmazása történt az „esőcsinálásnak”, így próbálva ellehetetleníteni a partizánok fegyverrel tör-

<sup>4</sup> Lásd a RIA Novosztyi orosz hírügynökség grafikáját a három orosz tengeri flottáról a következő honlapon: <http://en.rian.ru/images/15514/87/155148715.jpg> (2010. 8. 23.)

<sup>5</sup> „Russia to upgrade country's only aircraft carrier”. Barentsobserver.com, 2010. 4. 7.

<http://barentsobserver.com/index.php?id=4767810&xxforcedir=1&noredir=1> Letöltve: 2010. 8. 25.

<sup>6</sup> Ezen persze lehet vitatkozni, hiszen más szakértők az édesvízért folytatott harc, míg megint mások a cyberhadviselés századát várják.

<sup>7</sup> Gondolhatunk a „D” nap elhalasztására, az iraki háború megindításának időzítésére, vagy Zrínyi Miklós téli hadjáratára egyaránt.

tendő ellátását. A hosszú és véres háborúban ezek a törekvések csak epizódot jelentettek, de elvezettek oda, hogy 1974-ben Nixon és Brezsnyev tárgyalásán szóba került a téma.

Az ENSZ 1976 decemberében elfogadta a *31/72-es határozatot*, amely mindenféle katonai jellegű időjárás-befolyásoló kísérletet betiltott. 1977-re kidolgoztak egy egyezményt, a *”Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques”-et (ENMOD)*, amit az USA 1979-ben ratifikált. Ez tiltja az olyan környezet-változtató technikák hadászati vagy károkozási szándékú alkalmazását, melyek „kiterjedt, hosszú ideig fennmaradó súlyos károkat okoznak, beleértve – a szélviharok, esőzések, villámlás és jég-esők manipulálása mellett – a litoszféra tönkretételét és a mesterséges földrengések fegyverként való bevetését is”. Azonban nemcsak az USA, hanem többek között már a német és a brit hadsereg is alkalmazta ezt a technológiát. A Szovjetunió is folytatott hasonló jellegű kísérleteket. 1976-ban a Kínai Népköztársaság hivatalosan is tiltakozott a Szovjetuniónál, hogy a határvidéken ”kifacsarják” a felhőket, és a Kínára várt esők mind szovjet területen esnek le.

Persze a Kína Népköztársaság sem akar lemaradni ezen a területen. A Pekingben rendezett olimpia idején kaptak nyilvánosságot azok az adatok, amelyek azt bizonyítják, hogy Kína is képes és kész az időjárás befolyásolására. A kínaiak az oroszoktól merítették inspirációjukat, akik az ezredfordulás II. világháborús megemlékezésekre a kínai pártfőtitkárt is meghívták. Így ő is szemtanúja lehetett a katonai eső-oszlatás hatékonyságának. Ekkor határozta el az ázsiai kormány, hogy hatalmát kiterjeszti az időjárásra is. A cél elérése érdekében vásároltak az IBM-től egy 80 darabból álló Power5+ processzoros System p575 szerver clustert, mely 9,8 terraflopos számítási kapacitással bír. Ezzel a szuperszámítógéppel modellezik az események területét körülvevő 44 négyzetkilométernyi területet. Az időjárás-befolyásoló program grandiózus méreteire utal az is, hogy több mint 1 500 mérnök és katona dolgozik a programban, akik szükség esetén azonnal riaszthatják a 37 000 földműves bármelyikét a Pekinget övező területeken. A programban alkalmazott 30 repülőgép, több mint 7 000 légvédelmi gépágyú és közel 5 000 rakétakilövő juttatja a megfelelő kemikáliákat a felhőkbe, ezzel biztosítva, hogy a Pekingtől távol eső helyeken essen le a csapadék, és a város fölött ne indulhasson el a cseppképződés. [10]

Az Egyesült Államok és Oroszország közötti versengés tudományos és katonai téren egy percre sem szünetel. A pusztító hurrikánok kialakulásáért Oroszországot teszik felelőssé az amerikai meteorológusok. Véleményük szerint ugyanis az Amerika partjainál tomboló hurrikánokat orosz katonai szakértők mesterségesen idézték elő elektromágneses generátorral. Úgy vélik, hogy az oroszok titkos meteorológiai fegyvere bármilyen távolságból képes csapást mérni. Az oroszok viszont, még mielőtt a vádakra reagáltak volna, éppen az amerikaiakat okolták az időjárás változásokért. Szerintük, ha valami hatást gyakorol az éghajlatra, az nem más, mint az USA sarki fény kutatásokat folytató HAARP programja. [11]

A történet nem ér véget, egyre több jel mutat arra, hogy ezen a területen intenzív katonai kutatások folynak. Nem célunk felsorolni az összes módszert, hiszen valamennyi célja egy és ugyanaz: uralkodni az időjárás felett.

Az éghajlatváltozás a környezet átalakulása-átalakítása miatt számos társadalmi és politikai következménnyel jár: az ivóvízhiány, a mezőgazdasági termelékenység romlása, a trópusi betegségek terjedése az északi régiókban<sup>8</sup>, az időjárás ingadozása olyan biztonsági problémákat okoz, amelyek már ma is a katonai erő igénybevételét tételezi fel.

Az éghajlatváltozás – együtt más kockázati tényezőkkel – (mint például etnikai, vallási feszültségek, túlnépesedés) fegyveres konfliktusokhoz vezet. A természeti, humanitárius katasztrófák kezelése is nemzetközi összefogással kezelhető hatékonyan. Annál is inkább figyelniünk kell erre a faktorra, mert az előrejelzések szerint a természeti katasztrófák áldozatainak száma a következő évtizedekben hatványozottan nő, egyes becslések szerint akár hatszorosra is lehet a fegyveres konfliktusok áldozatainak.

A közeljövőben legelősebben feltehetően az ivóvízzel, az ahhoz való hozzáféréssel kapcsolatban alakulnak ki konfliktusok. Az emberi fogyasztásra alkalmas víz egyértelműen a stratégiai nyersanyagok sorába emelkedett. A víz alapvetően megújuló energiaforrásnak számít, de a víz mennyisége az éghajlatváltozás miatt folyamatosan csökken. A vízkészletek eloszlása pedig egyenlőtlen: ma a statisztikák tanúsága szerint a Föld lakosságának közel kétharmada nem jut megfelelő minőségű vagy mennyiségű vízhez. Mindez pedig a „vízmenekültek” számának rohamos növekedését, ezzel egyenes arányban pedig a fegyveres konfliktusok számának növekedését eredményezi. A következmények Európát is direkt módon érintik az illegális bevándorlás tömegessé válásával, amit a déli országok már most is tapasztalhatnak.

A katonai erő érintettsége az éghajlatváltozás miatt ma már nem vita tárgya. Kutatásainknak arra kell irányulni, hogy a Magyar Honvédség hogyan képes minimalizálni a káros hatásokat, hogyan képes biztonságosabbá tenni katonái tevékenységét, és hogyan tudja csökkenteni a saját kibocsátását. Ha ezekre a kérdésekre választ adunk, de legalább a fontosabb irányokat kijelöljük, munkánk nem lesz hiábavaló.

---

<sup>8</sup> A járványokat figyelő egészségügyi szolgálatok az utóbbi években Európa szerte olyan betegségeket regisztráltak, amelyek tíz éve még ismeretlenek voltak ezen a kontinensen. A változó éghajlat nyomán megjelenik a babeziózis, a Lyme-kór, a kolera, a pestis, a Rift-völgyi láz, a sárgaláz, az ebola, az álomkór, a tuberkulózis. <http://www.zoldujsg.hu/cikk.php?id=84&bb=1457> (2012. 3. 18.)

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] National Security and the Threat of Climate Change. <http://securityandclimate.cna.org/> (2008. 8. 16.)
- [2] <http://mailman.fsr.com/pipermail/vision2020/2010-July/070740.html> (2012. 3. 4.)
- [3] <http://hadtudomanyiszemle.zmne.hu/?q=hu/2008/1-evfolyam-1-szam/altalanos/az-egyedul-kiralysag-eghajlatvaltozasi-programjarol> (2008. 8. 21.)
- [4] Alex MORALES: Climate Change Poses Military Challenge. UK Defense Head Says <http://www.climateark.org/shared/reader/welcome.aspx?linkid=78624> (2008. 08. 21.)
- [5] United States, Canada, Military: Icebreaking Capacity and the Northwest Passage. [http://www.stratfor.com/analysis/united\\_states\\_canada\\_military\\_icebreaking\\_capacity\\_and\\_northwest\\_passage](http://www.stratfor.com/analysis/united_states_canada_military_icebreaking_capacity_and_northwest_passage) (2008. 08. 22.)
- [6] CSÁNYI Benedek: Oroszország és a változó Arktisz. Kül-Világ, 2010/2-3. [http://epa.oszk.hu/00000/00039/00022/pdf/kulvilag201002-03\\_EPA00039\\_csanyi.pdf](http://epa.oszk.hu/00000/00039/00022/pdf/kulvilag201002-03_EPA00039_csanyi.pdf) (2012. 3. 4.)
- [7] <http://en.rian.ru/images/15514/87/155148715.jpg> (2010. 8. 23.)
- [8] CSÁNYI Benedek: Északon a helyzet változóban – avagy az északi államok tevékenysége a Jeges-tenger térségében, Biztonságpolitikai Szemle, 2009.
- [9] [http://biztpol.corvinueembassy.com/?module=hatteranyagok&module\\_id=2&page=1&type=all&reszletek=41](http://biztpol.corvinueembassy.com/?module=hatteranyagok&module_id=2&page=1&type=all&reszletek=41), (2010. 8. 26.)
- [10] <http://barentsobserver.com/index.php?id=4767810&xxforcedir=1&noredir=1> (2010. 8. 25.)
- [11] <http://www.agent.ai/main.php?folderID=165&articleID=2156&ctag=&iid> (2008. 8. 17.)
- [12] [http://realzoldek.hu/pdf/Természeti-hadviseles\\_1.pdf](http://realzoldek.hu/pdf/Természeti-hadviseles_1.pdf) (2012. 3. 18.)
- [13] <http://www.zoldujsg.hu/cikk.php?id=84&bb=1457> (2012. 3. 18.)



Dr. Rácz Pál<sup>1</sup> – Dr. Göbl Nándor<sup>2</sup> – Horváth Dániel<sup>3</sup>

## ELEKTRODINAMIKUS MEGMUNKÁLÁSOK<sup>4</sup>

*Az elektrodinamikus alakítás két típusa ismert; az elektromágneses alakítás, és az elektrohidraulikus alakítás. Az elektromágneses alakításnál a kondenzátortelepben tárolt energiát egy tekercsen keresztül sütik ki, így a tekercs és az alakítandó munkadarab közötti villamos kölcsönhatás eredményezi a munkadarab alakváltozását. Az elektrohidraulikus alakításnál a tárolt energiát szikraközön vagy fémhuzalon keresztül sütik ki és a kisütési folyamat által egy átvad közegben keltett lökéshullámok hatására alakváltozik a munkadarab. A cikk bemutatja az elektromágneses és az elektrohidraulikus alakítás alkalmazási területeit, külön figyelmet fordítva a repüléstechnikai alkalmazási lehetőségekre, mint például a cső alakú alkatrészek expanziós, vagy kompressziós alakítása, sík lemezek alakítása, kötési, szerelési műveletek elvégzése, nem-fémes anyagok aprítása.*

### **ELECTRO-DYNAMIC FORMING PROCESSES**

*Electro-magnetic and electro-hydraulic forming are the two main types of electro-dynamic machining processes. In electro-magnetic forming the energy stored in the tank of capacitor has been discharged through a coil, and by the magnetic inter-action between the coil and the work-piece results plastic deformation of the work-piece. In electro-hydraulic forming the capacitor energy has been discharged on a spark gap between electrodes or on a metal wire, which is immersed into water with the work-piece. The electrical energy is converted into a pressure wave in the water which forms the work-piece into a die. Present article introduces the application fields of electro-magnetic and electro-hydraulic forming, paying special attention on the applications in aviation industry, like expansion or compression forming of tubes, sheet metal forming, joining and assembly operations, des-integrations of non-metallic materials.*

## BEVEZETÉS

Az ipar igényeinek gyors fejlődése, új iparágak kialakulása jelentősen befolyásolták a gyártási eljárások fejlődését. A fő irányzat olyan munkadarabok gyártása, amelyek a konstrukciós igényeket csökkenő gyártási költségek és minimális anyagfelhasználás mellett elégítik ki. A képlékenyalakító eljárások ebből a szempontból igen nagy jelentőségűek, mivel olyan alakkövető előgyártmányokat készítenek, melyeken az utólagos megmunkálás minimális, sőt bizonyos esetekben további megmunkálásra nincs is szükség.

Több évtizedes fejlesztési munkával alakult ki az elektrodinamikusan alakítási eljárások pontos helye a képlékenyalakítások rendszerében, az eljárások felhasználási területe, pontos technológiája, a munkadarabok konstrukciós kialakítása és maga az elektrodinamikusan alakító berendezés.

A képlékenyalakító gépek munkavégző képességének növelése a mozgó tömegeknek, vagy azok sebességének növelésével valósítható meg. Az alakítási sebesség növelése a mozgó tömegek csökkentésével, vagy teljes elhagyásával járhat, továbbá olyan anyagok képlékenyala-

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, racz.pal@bgk.uni-obuda.hu

<sup>2</sup> S-Metalltech 98 Kft., nandor.gobl@smet.hu

<sup>3</sup> S-Metalltech 98 Kft., daniel.horvath@smet.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Réger Mihály egyetemi tanár, Óbudai Egyetem

kítása is lehetővé válik, amelyek a hagyományos alakítógépeken másként viselkednek.

A nagysebességű fémalakítási eljárások közös jellemzője, hogy a nagyobb alakítási sebességet koncentrált energiák impulzusszerű felszabadításával biztosítják. Az elektrodinamikusan alakítási eljárások esetében a szükséges mechanikai energiát kondenzátor telepek tárolják villamos energia formájában. Ezt a villamos energiát impulzusszerűen sütik ki, az elektromágneses eljárásnál egy, az alakítandó darabnak megfelelő tekercselrendezésen, az elektrohidraulikus alakítás esetében pedig egy átható közegben (legtöbbször vízben) elhelyezett szikraközön vagy huzalátkötésen keresztül.

A gépben tárolt energiát a kondenzátor telepek kapacitása és a töltési feszültsége határozza meg ( $E=1/2 CU^2$ ). Egy adott berendezés tárolt energiája a töltési feszültség beállításával fokozatmentesen szabályozható.

Az eljárás alkalmazhatóságát a munkadarab anyagszerkezeti és geometriai tulajdonságai szabják meg. Elektromágneses alakításra elsősorban alumínium, réz és azok ötvözetei alkalmasak. A kis villamos vezetőképességű, nagyszilárdságú anyagok csak igen rossz hatásfokkal alakíthatók. Az elektrohidraulikus eljárás felhasználását a vezetőképesség nem befolyásolja, és a jobb hatásfok folytán nagyobb szilárdságú, pl. acél, anyagok is jól alakíthatók.

A konstrukció kialakításánál tehát az alkalmazott fém mechanikai tulajdonságain kívül figyelembe kell venni az anyagok villamos vezető képességét is. Rendszerint már a gyártmányrajz elkészítés idején eldől, hogy az alkatrész elektrodinamikusan eljárással gyártható-e, vagy sem. Sok esetben a konstrukció változtatása nélkül is megvalósítható az eljárás bevezetése, más esetekben pedig a gyártmány módosítása is szükséges.

Az eljárásnál alkalmazott hatásmechanizmus megköveteli az alakítandó darab esetében a zárt alakzatot. Az alkalmazhatóság megítélésénél figyelembe kell tehát venni az alakítás jellegzetességeit, mint például mechanikus érintkezés nélküli impulzusszerű erőátadást (kivágás, lyukasztás), így az alakítandó anyag nem sérül, nem szennyeződik, lazább mérettűrések engedhetők meg.

A fejlesztő munka során kialakultak a fő alkalmazási területek:

1. csőalakú előgyártmány expanziós vagy kompressziós alakítása, kivágása, lyukasztása;
2. sík előgyártmány (lemez) viszonylag kis mélységű alakítása;
3. expanziós vagy kompressziós alakzáró kötésen alapuló szerelési művelet elvégzése csőalakú előgyártmány felhasználásával;
4. szerelési műveletek elvégzése sík (lemez) előgyártmány felhasználásával.

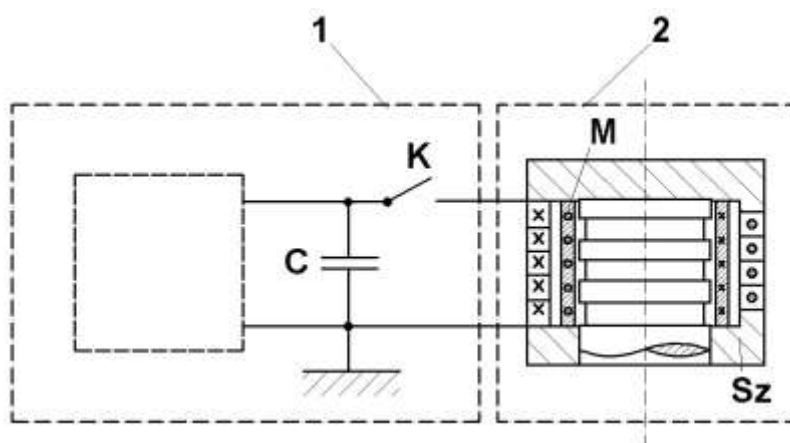
## AZ ELEKTRODINAMIKUS ALAKÍTÓBERENDEZÉS ELVI FELÉPÍTÉSE

Az elektrodinamikusan fémalakítási eljárások esetében az adott méretű és anyagú előgyártmány alakításához szükséges mechanikai energiát kondenzátortelep tárolja villamos energia formájában. A feltöltött kondenzátortelepet az alakítási műveletre alkalmas szerszámon keresztül kisütve valósul meg az energiaátalakítás, amely a mechanizmusa szerint az elektromágneses és az elektrohidraulikus fémalakításra tagolható.

Az elektromágneses eljárás esetében (1. ábra) a szerszámelrendezés alakítótekercsén áthaladó áramimpulzus hatására a kialakuló mágneses tér közvetítésével a tekercs és az alakítandó

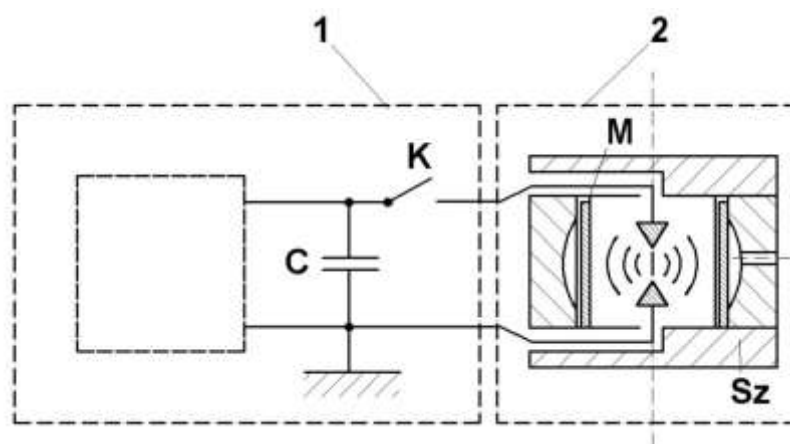
munkadarab között transzformátoros kapcsolat jön létre. Ennek következtében a megfelelő villamos vezetőképességgel rendelkező munkadarabban is áram alakul ki. A két áram kölcsönhatásaként a tekercs és a munkadarab között mechanikai erőhatás jön létre, és ez az erőhatás alakítja az előgyártmányt.

A tekercs és a munkadarab egymáshoz képest elfoglalt helyzete alapján megkülönböztethető meg síktekercses, hengeres kivitelű expanziós tekercsű és hengeres kivitelű kompressziós tekercsel ellátott szerszámelrendezést. A megmunkálandó előgyártmány meghatározott felületére, adott mértékű energiakonzentráció lehetősége is fennáll a különböző kialakítású térformáló elemek alkalmazásával.



1. ábra Az elektrodinamikus alakítás elvi vázlata  
1-nagyáramú impulzusgenerátor, 2-alakítóegység,  
C-kondenzátor, K-nagyáramú kapcsoló, M-munkadarab, Sz-szerszám

A megmunkálási folyamat hatásossága a berendezés impulzusgenerátorán és a szerszám tekercselésén áthaladó áramimpulzustól függ. Az áramimpulzus nagyságát és időbeni lefolyását az áramkörü paraméterek határozzák meg, ezért a munkadarab villamos vezetőképessége is döntő jelentőségű. Így a megmunkálandó előgyártmány anyagára jellemző folyáshatár és fajlagos villamos vezetőképesség lesz az a két jellemző paraméter, amelynek alapján eldönthető, hogy az adott előgyártmány elektromágnesesen megmunkálható-e vagy sem.



2. ábra. Az elektrodinamikus alakítás elvi vázlata  
1-nagyáramú impulzusgenerátor, 2-alakítóegység,  
C-kondenzátor, K-nagyáramú kapcsoló, M-munkadarab, Sz-szerszám

Az elektrohidraulikus eljárás esetében (2. ábra) a szerszámelrendezés munkaterébe elektródák segítségével vezetjük be a villamos energiát. Az energiaátalakítási folyamat az elektródák közötti közvetlen ívkisüléssel, vagy a kisülési művelet kezdetekor szilárd vagy folyékony halmazállapotú vezető elgőzölögtetésével jön létre. A közvetlen vagy a közvetett ívkisüléssel előidézett lökéshullámok a folyékony vagy légnemű, vagy szemcsézetten szilárd vagy viaszhoz hasonló halmazállapotú közvetítőközeg segítségével alakítják a szerszámba helyezett előgyártmányt.

Az elektrohidraulikus fémalakítás esetén a berendezés impulzusgenerátorában lévő kondenzátortelep kisülésével előidézett áramimpulzus nagyságát és időbeni lefolyását az elektródák közötti "áthidalás" villamos paraméterei határozzák meg. A további energiaátalakítási folyamatot a lökéshullámot közvetítő közeg áramlástechnikai és az alakítandó előgyártmány képlékenységtani paraméterei határozzák meg.

Az elektrodinamikus fémalakító berendezés, mint szerszámgép villamosan két fő részből áll:

- a nagyáramú impulzusgenerátorból és
- az alakítási műveletre alkalmas szerszámelrendezésből.

Az impulzusgenerátorban található az energiatároló kondenzátortelep, a nagyfeszültségű tápegység, az energiaszint beállítását és kisütését végző automatika, a biztonsági- és kezelő elemek. A szerszámelrendezés kialakítása a technológiai művelettől függ, az előzőekben említettek szerint.

A szerszámelrendezés és az impulzusgenerátor munkaáramköre egy soros R-L-C kört alkot. Az elektrodinamikus fémalakítás módjától függően e rezgőkör paraméterei az alakítási művelet folyamán is változnak, így a kialakuló áramimpulzus időfüggvényének felírásakor ezt is figyelembe kell venni. Ennek alapján egy adott alakítási műveletre felírhatók azok a villamos és képlékenységtani differenciálegyenletek, amelyek számítógépes megoldása a folyamatra jellemző paraméterek időfüggvényeit eredményezi.

Az elektromágneses képlékenyalakítás tervezésénél az alakított munkadarab méretének, az alakítás mértékének, és az anyag alakulási szilárdságának függvényében kell meghatározni az alakítási energiát. Az eljárás paramétereit három fő csoportba lehet besorolni:

- gép paraméterek; kapacitás, belső ellenállás, belső induktivitás, rezgési frekvencia, töltési energia;
- tekercs, szerszám paraméterek; alak, méret, induktivitás, tekercs anyaga, az alakító szerszám anyaga, alakja;
- munkadarab paraméterek; alak, elektromos vezetőképesség, szilárdsági és képlékenységi tulajdonságok.

Az alakítási energia meghatározása érdekében ismerni kell az alakítandó darab, alakítás előtti és utáni geometriai méretet, az anyagra jellemző alakítási szilárdságot és a berendezés villamos adatait. Az alakítandó alkatrész, a számítás egyszerűsítése érdekében, elemi részekre bontható és ezekre az elemi részekre egyenként lehet az alakítási energiát, vagyis az alakítás ideális munkáját meghatározni:

$$E_{ax} = V_x \cdot k_{fx} \cdot \lambda_x \quad (1)$$

ahol

- $E_{alx}$  a  $x$ -edik elem alakítási energiája;
- $V_x$  az elemi rész alakítandó térfogata;
- $k_{fx}$  az alakítandó elemek anyagára jellemző alakítási szilárdság;
- $\lambda_x$  az elemi rész alakításának mértéke.

A több elemre bontott alkatrész esetén az alakítási műveletre fordítandó teljes energia a rész energiák összege lesz, azaz

$$E_{al} = \sum_1^n E_{alx} \quad (2)$$

Az így kiszámított energiának azonban a többszörösét kell a berendezés kondenzátor telepében felhalmozni, mert a villamos energiának mechanikai munkává alakítása, a berendezés felépítésétől és a szerszám szerkezetétől és így a hatásfoktól függően veszteségekkel jár.

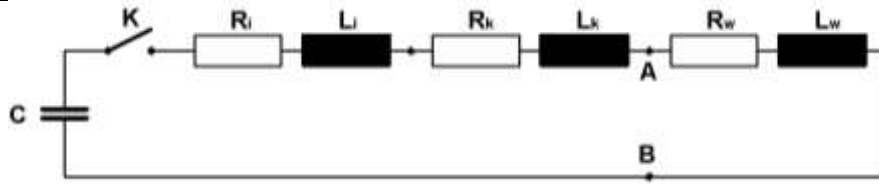
A gyakorlati tapasztalatok alapján az energia átalakításának hatásfoka 5-10%-os, ha a tekercs és a munkadarab közé térformálót iktatnak be, akkor csak 2-5%. Az említett értékeknél nagyobb, 15%-ot is elérő, hatásfok általában a közvetlen alakító-hatású, úgynevezett egyszer-használatos vagy egy-lövéses, tekercsel valósítható meg. Az elektromágneses alakítási technológia tervezőjének tehát a hatásfokot tapasztalati alapon kell feltételeznie, majd ennek figyelembevételével számíthatja ki a berendezés kondenzátor-telepében tárolandó villamos energia értékét.

A villamos energia ismeretében kiválasztható vagy megtervezhető az adott alakítási feladat megoldására alkalmas elektromágneses alakítóberendezés és ezen belül az alakítószerszám típusa, illetve annak szerkezeti elrendezése. Fentiek azt is mutatják, hogy a töltési energia önmagában nem elegendő az eljárás jellemzésére, a munkadarabra ható erők meghatározására. Számos publikáció foglalkozik a felsorolt eljárás módozatoknál fellépő jelenségek elméleti megközelítésével és határozza meg a fellépő nyomást, erőt, alakváltozást az eljárás paramétereit alapján.

Az alakítóberendezés kiválasztása, megtervezése során az elektromágneses félalakító szerszámok villamos helyettesítő kapcsolásának egységes számítási módszere ad lehetőséget arra, hogy az adott szerszám-elrendezésben létrehozható áramimpulzust, illetve mágneses nyomást jó közelítéssel meghatározzák a „nagyáramú impulzusgenerátor–alakítótekercs–munkadarab” rendszer modellezésével. Az elektromágneses félalakító berendezés két fő részből áll; nagyáramú impulzusgenerátorból és a munkadarabot is tartalmazó szerszámból. Az impulzusgenerátor technológiai szempontból legfontosabb egységei; az energiatároló kondenzátortelep és a tárolt energiának az alakítótekercsen keresztüli kisütésére szolgáló nagyáramú kapcsoló.

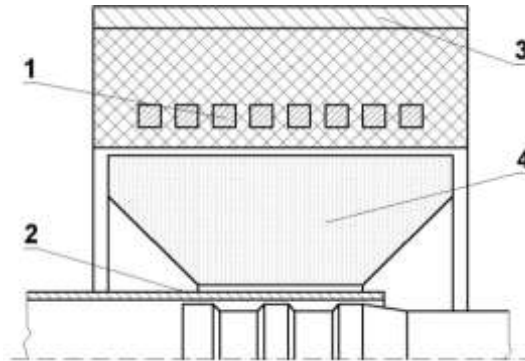
Az elektromágneses alakítóberendezés, azaz az impulzusgenerátor–tekercs–munkadarab rendszer, villamos szempontból egy R-L-C elemekből álló áramkörrel helyettesíthető, amely eredő áramkör a gyakorlatban különböző rész elemekből tevődik össze (3. ábra).

A 3. ábrán a C az energiatároló kondenzátor, a K a nagyáramú kapcsoló, Ri és Li a tároló és kapcsoló elemek belső ellenállása és belső induktivitása, Rk és Lk az energiatároló és a tekercs közötti villamos összekötés ellenállása és induktivitása. Az Rw és Lw a szerszám elrendezésre jellemző ellenállás és induktivitás. Az A és B pontok az alakítótekercs csatlakozási pontjai a berendezésen.



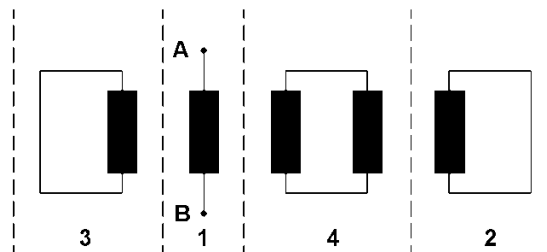
3. ábra Az alakítóberendezést helyettesítő R-L-C áramkör részletesebb változata

A tekercs és a munkadarab áramkörileg R-L elemekből áll, amely egy adott alakítási feladat esetében szintén számos részelemből tevődik össze (3. ábra).

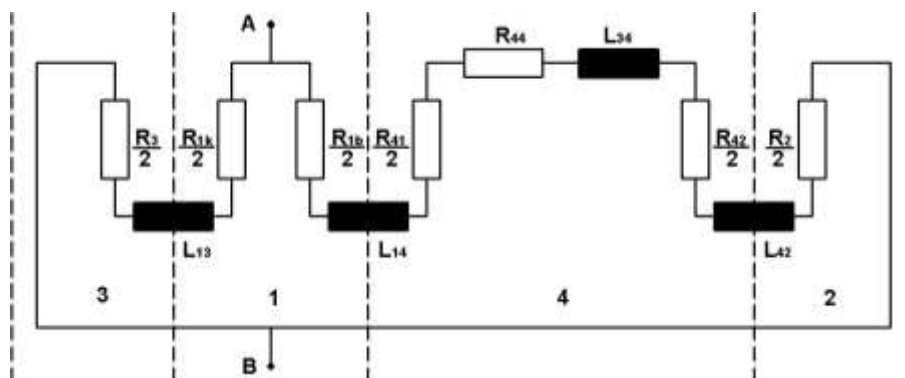


4. ábra Térformálóval ellátott, kompressziós hatású hengeres szerszám-elrendezés vázlata  
(1-tekercs, 2-alakítandó munkadarab, 3-külső fémburkolat, 4-térformáló)

A 4. ábrán látható alakítási feladat szerszám-elrendezésének villamos helyettesítő kapcsolása az 5. ábra szerinti transzformátoros kapcsolások alapján a 6. ábrán bemutatott részleteket tartalmazza.



5. ábra A 4. ábrán bemutatott szerszám-elrendezés transzformátoros kapcsolatainak vázlata



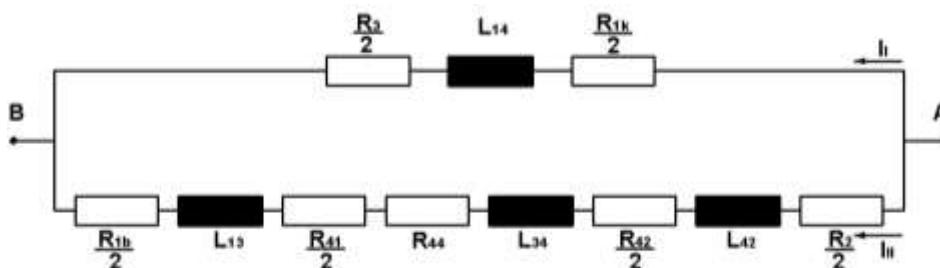
6. ábra A 4. ábrán bemutatott szerszám-elrendezés transzformátoros kapcsolatainak áramköre

A fenti áramkörben az egyes tagok értelmezése a következő:

- $R_{1b}$ : az alakítótekercs belső, a térformáló irányában levő felületének ohmos ellenállása;

- $L_{14}$ : az alakítótekerics belső felülete és a térformáló közötti légrés induktivitása;
- $R_{41}$ : a térformáló külső, a tekerics irányában levő felületének ohmos ellenállása;
- $L_{44}$ : a térformáló-rés induktivitása;
- $R_{42}$ : a térformáló belső, a munkadarab irányában lévő felületének ohmos ellenállása;
- $L_{42}$ : a térformáló belső felülete és a munkadarab külső felülete közötti úgynevezett munka légrés induktivitása;
- $R_2$ : az alakítandó munkadarab külső, a térformáló irányában levő felületének ohmos ellenállása;
- $R_{1k}$ : az alakítótekerics külső, a fémburkolat irányában levő felületének ohmos ellenállása;
- $L_{13}$ : az alakítótekerics külső felülete és a fémburkolat belső felülete közötti légrés induktivitása;
- $R_3$ : a fémburkolat belső, az alakítótekerics irányában levő felületének ohmos ellenállása.

Látható, hogy a részletes áramkör két párhuzamosan kapcsolt ágból tevődik össze, amelyek közül jelen példában a belső áramkörben van az alakítási feladat megoldására jellemző  $L_{42}$  induktivitás (7. ábra).



7. ábra A 6. ábrán látható kapcsolás módosított változata

A berendezésben az  $U$  feszültségre feltöltött kondenzátor-telep  $C$  kapacitásának kisütésekor kialakuló legnagyobb  $I$  áram a helyettesítő kapcsolás (5. ábra) értelmében az ág-impedanciáktól függően két részre oszlik el. A külső ágban folyik az  $I_I$  áram és a belsőben az  $I_{II}$  áram. Az  $I_{II}$  ág-áram és az  $L_{42}$  induktivitás, valamint az ehhez tartozó tér-rész geometriai adatainak ismeretében meghatározható a szerszám munkalégrésében létrejövő mágneses nyomás. Természetesen a számítások elvégezhetők az alakítási feladat megoldásához szükséges mágneses nyomás értékéből kiindulva is. Ez a tervezési változat alkalmazható egy új szerszám-elrendezést tartalmazó berendezés tervezésének esetében.

## AZ ELEKTRODINAMIKUS ALAKÍTÁSI ELJÁRÁSOK TECHNOLÓGIAI TERVEZÉSI KÉRDÉSEI

Az adott gyártmányhoz a legmegfelelőbb gyártás technológiai folyamatnak a kiválasztását műszaki és gazdasági szempontok határozzák meg. A hagyományos képlékenyalakítási eljárások kiválasztását és gyakorlati megvalósítását sok évtized műszaki és gazdasági tapasztalata könnyíti meg. A nagysebességű képlékenyalakítások területén nem ez a helyzet, mert ipari alkalmazásuk még csak néhány évtizedes múltra tekint vissza.

A következőkben síklemezek vagy lemezből készült csőszerű előgyártmányok megmunkálására alkalmas módszerek gyártás technológiai sajátosságairól, a technológiai feladat szerinti szerszám kiválasztásról, kialakításról lesz szó.

Lemez-méretű előgyártmányok esetén szóba jövő alakítási eljárások egyrészt az alakítószerszám és a munkadarab közötti kapcsolat és az energiaátadás folyamata alapján, másrészt a munkadarab geometriai méreteinek és technológiai jellemzőinek ismeretében tárgyalhatók.

Az 1. táblázatban az elektromágneses és az elektrohidraulikus alakító eljárások jellemző paramétereinek tájékoztató értékei szerepelnek.

Jellemző paraméter		Alakítási eljárás	
		Elektromágneses	Elektrohidraulikus
Energiahordozó		mágneses tér	villamos ív
Energia-átadás módja		villamos energiával impulzusszerű mágneses tér létrehozása	villamos energiával szikrakisülés vagy huzalrob-bantás előidézése
Közvetítő közeg		légnemű (légtüres tér)	folyadék, légnemű, egyéb
Energiatartomány	kWs	0,2-240	0,1-150
Impulzus homlok teljesítmény	kW	$10^6$	$10^7$
Elérhető fajlagos nyomás	$\frac{\text{kp}}{\text{mm}^2}$	35	100
Lökéshullám kezdősebesség Lökéshullám munkasebesség	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	3.000-6.000	~6.000 400-800
Alakítási sebesség	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	15-150	20-200
Alakváltozási sebesség	$\text{s}^{-1}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$
Impulzus időtartama	$\mu\text{s}$	10-100	5-50
Alakítási idő	s	$10^{-3}$	$10^{-3} - 10^{-2}$
Ciklusidő	min	0,005-1	0,2-4
Alakítási műveletek		szűkítés, tágítás, dombornyomás, kivágás, peremezés, sajtolás, szerelés	tágítás, kivágás, bordázás, domborítás, sajtolás, szerelés

1. táblázat Az elektromágneses és az elektrohidraulikus alakító eljárások jellemző paramétereinek

A 2. táblázat az elektromágneses és az elektrohidraulikus alakítási eljárásokkal megmunkálható előgyártmányok jellemző paramétereinek tájékoztató értékeit tartalmazza. A táblázatban felsorolt adatok a megmunkálendő előgyártmány geometriai méretarányai és a szóban forgó két nagysebességű eljárással megvalósítható alakítási műveletek közötti összefüggéseket adják meg.

Mindkét táblázat tájékoztató jellegű, ezért egy adott munkadarab esetében a megfelelő alakítási eljárás kiválasztása nem végezhető el csak a méretek és a technológiai jellemzők gépies



figyelembevételével. Az adott gyártmány és a választott megmunkálás további konstrukciós és gazdasági megfontolásokat kíván a tervezőtől és a technológustól.

A megmunkálandó előgyártmány jellemzői			Alakítási eljárás		
			Elektromágneses	Elektrohidraulikus	
Anyag			$\rho \leq 15 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ fajlagos ellenállású fémek, ötvözetek	fémek, fémötvezetek, egyéb anyagok	
Lemezserű előgyártmány	megmunkálandó felületek átmérője	mm	20-400	10-500	
	vastagsága	mm	0,2-3,5	0,1-6	
	mélyhúzása, domborítása esetén	$\frac{H}{D} \leq$	0,003-0,1	0,005-0,3	
	kivágása, lyukasztása esetén	$\frac{d}{s} \geq$	5-9	4-8	
	szerelési művelete			peremezés, besajtolás	besajtolás
Csőszerű előgyártmány	bővítése	külső átmérő	mm	30-300	5-500
		fálvastagság	mm	0,2-4	0,1-5
		átmérő növekedés mértéke	$\frac{D_1}{D}$	1,05-1,20	1,05-1,35
		palást-lyukasztás esetén	$\frac{d}{s} \geq$	6-10	4-8
	szűkítése	külső átmérő	mm	5-300	
		fálvastagság	mm	0,2-10	
		átmérő csökkentése	$\frac{D_2}{D}$	0,95-0,55	
		palást-lyukasztás esetén	$\frac{d}{s} \geq$	4-8	
szerelési művelete			szűkítés, bővítés, peremezés	bővítés	

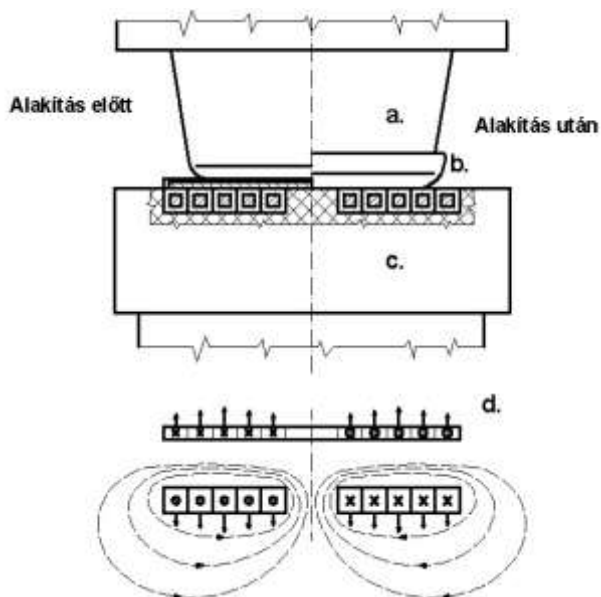
2. táblázat Az elektromágneses és az elektrohidraulikus alakítási eljárásokkal megmunkálható előgyártmányok jellemző paraméterei

## ELEKTRODINAMIKUS ALAKÍTÓ SZERSZÁMOK KIALAKÍTÁSA

**Az elektromágneses eljárásnál** a megfelelően kialakított tekercsel ellátott szerszám végzi az energiaátalakítást és a munkadarab alakítását. A tekercs és a munkadarab egymáshoz viszonyított helyzete határozza meg a szerszámelrendezés típusát. A három alapvető szerszámelrendezés a következő:

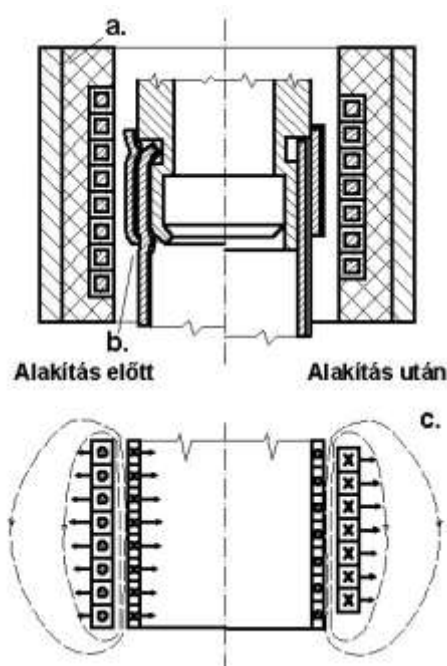
1. A lemezalakú munkadarabbal párhuzamos síkban elhelyezett spirálalakú tekercselés jellemezi síktekercses szerszámot, amelynek vázlatát a 8. ábra mutatja be, ahol
  - a - ellendarab;
  - b - munkadarab;

- c - az alakító tekercset tartalmazó szerszámrész;  
 d - a síktekerceses szerszámelrendezés munkatekercsének jellemző erővonal képe.



8. ábra Síktekerceses szerszámelrendezés váza

2. A hengeres kivitelű tekercselés belsejében elhelyezett munkadarab összenyomó hatású alakítását a kompressziós szerszámelrendezés teszi lehetővé, amelynek vázlatát a 9. ábra mutatja be, ahol
- a - az alakító tekercset tartalmazó szerszámrész;
  - b - az alakított munkadarab egy szerelési műveletben;
  - c - a kompressziós tekercsű szerszámelrendezés munkatekercsének jellemző erővonal képe.

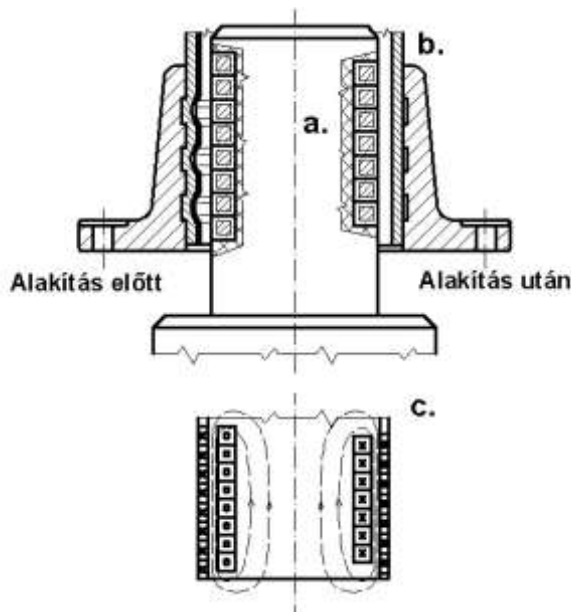


9. ábra Hengeres kivitelű kompressziós tekercsű szerszámelrendezés vázlata

3. A hengeres kivitelű tekercselést körülvevő munkadarab tágító jellegű alakítását az ex-

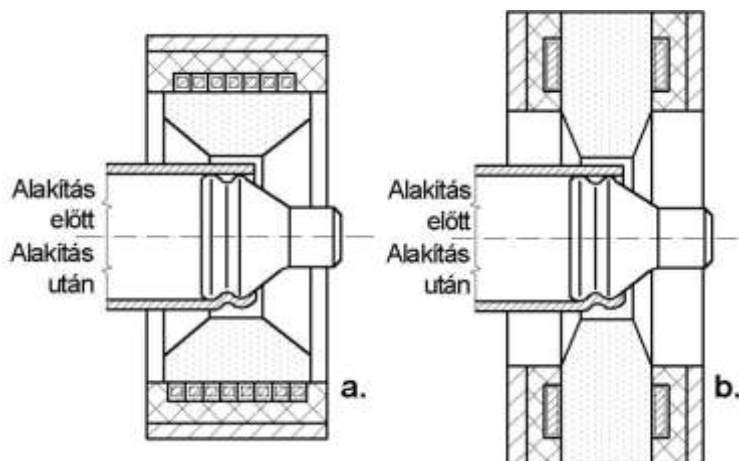
panziós szerszámelrendezés teszi lehetővé, amelynek vázlatát a 10. ábra mutatja be, ahol

- a - az alakító tekercset tartalmazó szerszámrészt;
- b - az alakított munkadarab egy szerelési műveletben;
- c - a kompressziós tekercsű szerszámelrendezés munkatekercsének jellemző erővonal képe.



10. ábra Hengeres kivitelű expanziós tekercsű szerszámelrendezés vázlata

A megmunkálandó előgyártmány egy meghatározott felületére adott mértékű energiakonzentráció lehetősége is fennáll a különböző kialakítású térformáló elemek alkalmazásával. A hengeres kivitelű, kompressziós tekercseléssel ellátott, szerszámokban helyezhető térformálót mutat be a 11. a. ábra. Ennek a kialakításnak a segítségével, egy alaptekercssel a térformáló elemek belső geometriájának változtatásával, több egymástól eltérő méretű munkadarab kompressziós alakítása válik lehetővé. A nagyobb, 30 kW-s feletti energiaigényű kompressziós alakításokra alkalmas szerszámokat általában kettős síkspirál tekercselésű siktérformálóval ellátott, szendvicsszerkezetű tekercsel készítenek. Ennek a szerszámelrendezésnek a kialakítást a 11. b. ábra mutatja.



11. ábra Térformálóval ellátott kompressziós tekercsek

A különböző szerszámelrendezések gyakorlati kialakítását az elektromágneses fémalakítás alkalmazási területe határozza meg. Az előzőekben bemutatott ábrákból is kitűnik, hogy az elektromágneses eljárás az alábbi felhasználási területeken indokolt:

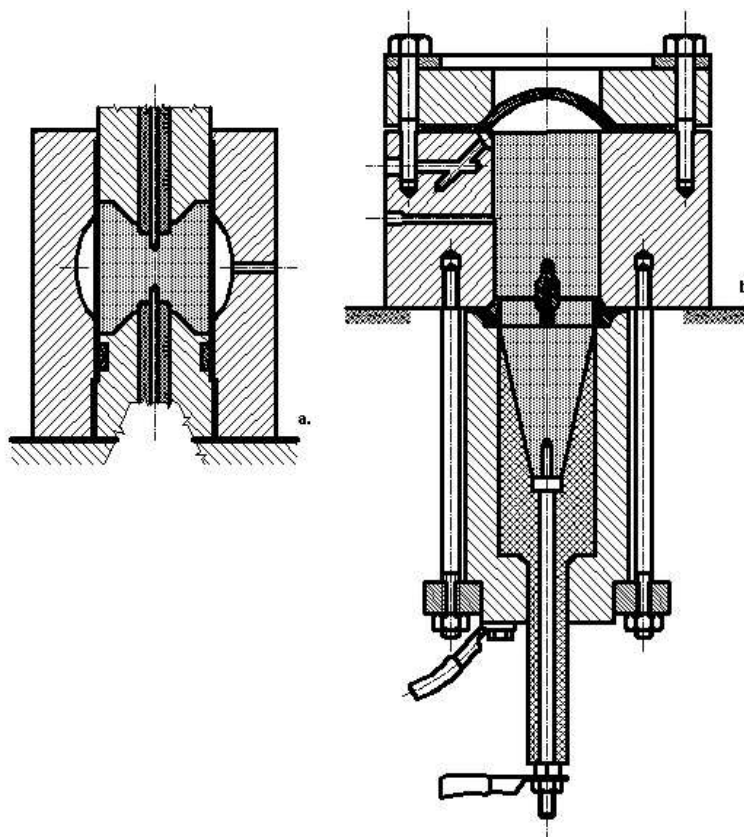
1. csőalakú előgyártmány expanziós vagy kompressziós alakítása, kivágása, lyukasztása, peremezése;
2. lemezalakú előgyártmányok viszonylag kis alakítási mélységű alakítása;
3. csőalakú előgyártmány felhasználásával expanziós vagy kompressziós jellegű szerelési műveletek elvégzése;
4. lemezalakú előgyártmányok felhasználásával szerelési műveletek elvégzése.

**Az elektrohidraulikus alakítás** esetén a tárolt energia impulzusszerű átalakításával létrehozott nagy hőmérsékletű villamos ív által keltett lökéshullámok hatásmechanizmusát használják fel a technológiai műveletek elvégzéséhez. Az elektrohidraulikus szerszámok elrendezésének típusát a szerszám nagynyomású terébe vezető elektródák és az alakítandó munkadarab egymáshoz viszonyított helyzete határozza meg. A két alapvető szerszámelrendezés a következő:

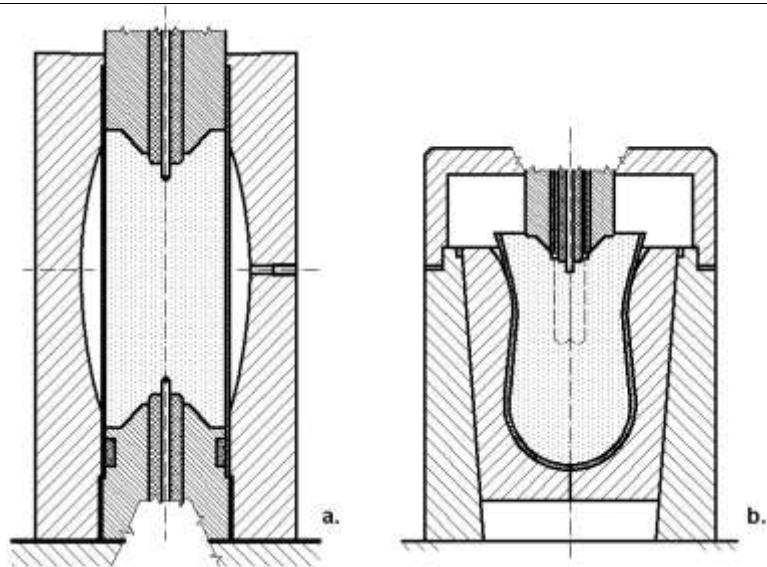
1. egymással szemben elhelyezett elektródákkal ellátott munkaterű szerszám;
2. koaxiális elrendezésű elektródákkal ellátott munkaterű szerszám.

Mindkét alapvető szerszámtípus alkalmas sík vagy görbült felületű lemezmeretű előgyártmányok alakítására. A fenti szerszámelrendezések vázlatát a 12. és 13. ábrák mutatják be. A 12. ábra a közvetlen szikrakisütéses elektrohidraulikus szerszámelrendezéseket szemlélteti, ahol

- a. hengeres-elrendezés, csőalakú munkadarab szakaszos bővítésére;
- b. sík-elrendezés, lemezalakú munkadarab domborítására.



12. ábra Közvetlen szikrakisütéses elektrohidraulikus szerszámelrendezések

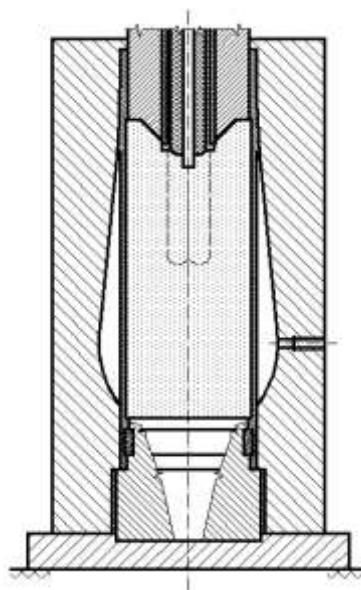


13. ábra Huzalos-elrobbantásos elektrohidraulikus szerszámelrendezések

- A 13. ábra az elrobbanó-huzalos elektrohidraulikus szerszámelrendezéseket mutatja be, ahol
- hengeres-elrendezés, csőalakú munkadarab bővítésére;
  - serleg alakú munkadarab dombormintázatának kialakítása, koaxiális elektróda-elrendezésű szerszámmal.

A bemutatott szerszámelrendezéseken kívül a gyakorlatban előforduló technológiai feladatok számos esetben bonyolultabb kivitelű szerszámkamrákat és elektródákat, valamint elrobbanó huzal geometriákat kívánnak meg a szerszámtervezőtől. Ilyen esetekben a lökeshullámok terjedése, illetve reflexiója csak közelítőleg határozható meg szerkesztéssel vagy számítással.

Az elektrohidraulikus eljárás esetében is lehetséges a megmunkálandó előgyártmány egy meghatározott felületére adott mértékű energiakoncentráció, a különböző kialakítású lökéstelítő elemek alkalmazásával. A koaxiális elrendezésű elektródákkal ellátott szerszámban elhelyezett reflektort mutatja be a 14. ábra.



14. ábra Elektrohidraulikus szerszám koaxiális elrendezésű elektródákkal és elrobbanó huzallal

A különböző szerszámelrendezések gyakorlati kialakítását az elektrohidraulikus fémalakítás alkalmazási területe határozza meg. Az előzőekben bemutatott ábrákból is kitűnik, hogy az elektrohidraulikus eljárás gyakorlati felhasználásának jellegzetes alkalmazási területe:

1. a csőszerű előgyártmányok expanziós alakítása, lyukasztása, kivágása;
2. a lemezalakú előgyártmányok mélyhúzása;
3. csőszerű előgyártmányok felhasználásával expanziós-jellegű szerelési műveletek elvégzése;
4. lemezalakú előgyártmány felhasználásával szerelési műveletek elvégzése.

## AZ ELEKTRODINAMIKUS ALAKÍTÁSI ELJÁRÁSOK KONSTRUKCIÓS TERVEZÉSI KÉRDÉSEI

**Az elektromágneses alakítás** konstrukciós szempontjainál alapvető, hogy az alkalmazott fém mechanikai tulajdonságain kívül az anyag villamos vezetőképességét is figyelembe kell venni. (Azok az anyagok még alakíthatók, melyeknek a vezetőképessége a réz vezetőképességének 10%-ánál nem kisebb.) Amennyiben a rossz vezetőképességű fémből készült alkatrészt az alakítótekerces felőli felületén valamilyen jó vezetőképességű bevonattal látják el, akkor alakítható. Ez a bevonat lehet, rendeltetésszerűen előírt, vagy az alakítás megkönnyítésére galvanikus, vagy vegyi úton felvitt bevonat, esetleg fémfóliából feltekerceselt réteg. Az alakítás megkönnyítésére készített bevonatok alkalmazását gazdaságossági szempontok korlátozzák.

Geometriai alak szempontjából lényeges az eljárás ismertett hatásmechanizmusa alapján, hogy csak zárt alakzatok alakíthatók. A rövid idejű impulzus és a darab többi részének tehetlensége megkönnyíti a kivágást és a lyukasztást.

Lényeges szempont, hogy az elektromágneses alakításnál az alakító erőt mechanikus érintkezés nélkül adják át a munkadarabra. Ez azt jelenti, hogy az anyag felülete nem sérül meg, tehát kikészített (pl. polírozott), vagy valamilyen bevonattal ellátott darabok is alakíthatók, amennyiben a bevonat, pl. festék vagy galvánbevonat jól kibírja az alakítást. Tekintettel arra, hogy kenőanyagra nincs szükség, a darabok szennyeződésével, illetve utólagos tisztításával sem kell számolni.

**Az elektromágneses alakításnál** lazább mérettűrések engedhetők meg. A csatlakozó darabok illeszkedő méreteinek szórása a megfelelő energiaszint beállításával áthidalható. Tulajdonképpen a nagyobb alakítási hatásfok érdekében célszerű az alakítótekerces mérete és az ehhez csatlakozó munkadarab mérete közötti eltérést minél kisebbre választani. A kevésbé szigorú mérettűrések különösen szerelési műveleteknél nyújtanak számottevő előnyöket.

Elektrohidraulikus alakításnál az alakított anyag villamos vezetőképessége nem játszik szerepet, ezért kifejezetten rossz vezetőképességű anyagok, pl. rozsdamentes acél is jól alakíthatók. Az alakítandó darab geometriailag ennél az alakítási módnál is zárt, megszakítatlan felületű kell, hogy legyen. Az alakítónyomást közvetítő folyadék terét általában maga a darab zárja le. Különleges esetekben megoldható, hogy a folyadéktér lezárását rugalmas membrán, vagy egyszer használható tartály, pl. műanyag zsák, biztosítsa.

Az elérhető alakváltozási mérték általában jóval nagyobb, mint az elektromágneses alakításnál, és gyakorlatilag a fém alakíthatósági határig terjed.

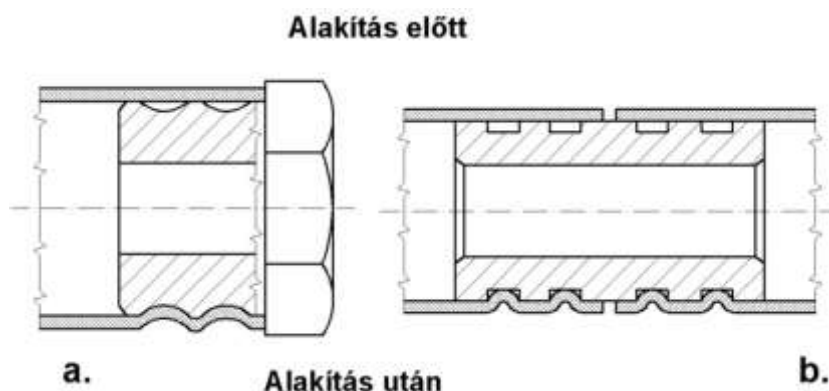
Az alakított darab geometriai kialakításánál az éles sarkokat és merőleges vállakat lehetőleg itt is kerülni kell. Tekintettel arra, hogy az elektrohidraulikus alakításnál mind az alakított darab mérete, mind az alakváltozás mértéke általában nagyobb, mint az elektromágneses alakításnál, ezért a kiinduló darab és a szerszám közötti teret az esetek többségében vákuumozni kell.

A kiinduló darabok mérettűrésével kapcsolatban itt sincs fokozott követelmény, azonban gondolni kell arra, hogy az alakítandó alkatrész zárja le a folyadékteret, ezért a darab méretszórásának és a tömítő rendszernek összhangban kell lennie.

## ELEKTROMÁGNESES ALAKÍTÁSI PÉLDÁK

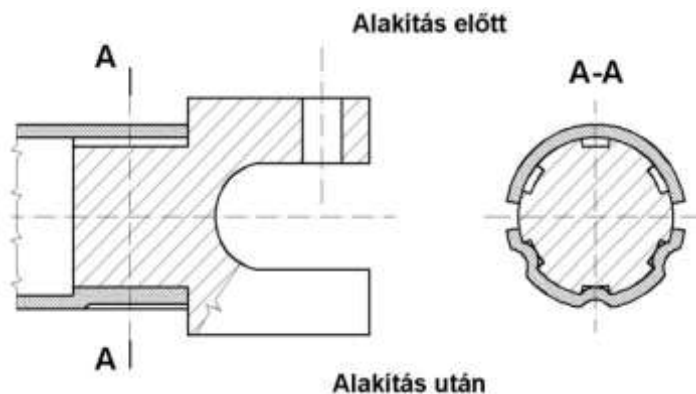
A kifejezetten alakítási műveletekhez képest nagyobb jelentőségű az elektromágneses eljárás a képlékenyalakítással létesített mechanikus kötések, vagyis a szerelés területén. A szerelési műveletek azonban nemcsak a hagyományos értelemben vett szerelések helyettesítésére szolgálnak, hanem bizonyos esetekben új, egyszerűbb, olcsóbb konstrukciós lehetőségeket is nyújtanak.

A csatlakozó elemeken olyan hornyok, beszúrások, vállak kiképzése szükséges, amelyek az összeszerelt alkatrészek megfelelő mechanikus kötését biztosítják. (15. ábra.) Az ábra baloldalon csővégződés rögzítése látható, míg a jobboldalon csőcsatlakozás kialakítás közvetítő darabbal.



15. ábra Alakzáró kötések

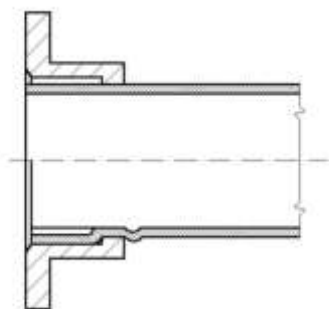
Torziós igénybevétel átvitelére (pl. tengelyeknél) hosszanti bordázattal célszerű ellátni a csatlakozó darabot, és az alakított darabot a bordák közé sajtoljuk be. (16. ábra).



16. ábra Hosszanti bordázattal ellátott tengelyvégződés

Szűkítés helyett tágitással is rögzíthetők csőkarimák csövek végein (17. ábra).

Alakítás előtt

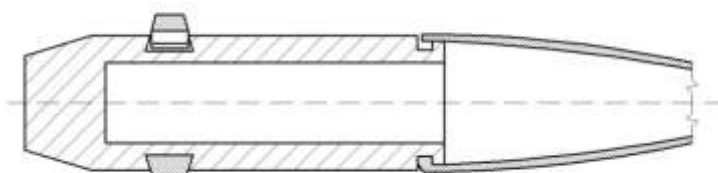


Alakítás után

17. ábra Csókarima szerelése

Elfordulás ellen megfelelő biztonságot nyújtó kötést lehet létrehozni lövedékek vezetőgyűrűinek felsajtolásakor. Hasonló módon rögzíthetők különböző színesfém csapágyperselyek is. A 18. ábrán bemutatott példán a lövedék orrkúpját is elektromágneses alakítással rögzítették.

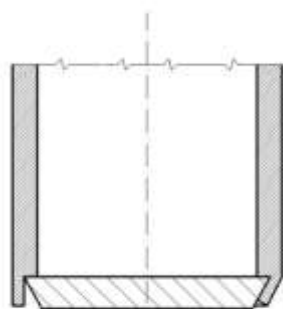
Alakítás előtt



Alakítás után

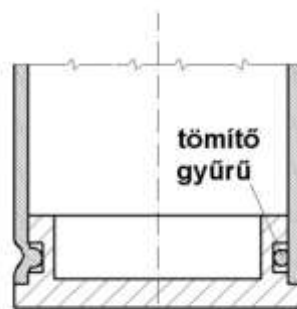
18. ábra Lövedék vezetőgyűrűjének és orrkúpjának felsajtolása

Alakítás előtt



a.

Alakítás előtt



b.

Alakítás után

19. ábra Különböző kialakítású csőlezárások

Különböző edények, hengerek, csőlezárások alakíthatók ki viszonylag egyszerű módon, megfelelően kiképzett végdarabokkal. A 19. a. ábrán tömítőanyag nélküli, a 19. b. ábrán pedig O-gyűrű alkalmazásával kialakított csőlezárások láthatók.

Kisebb méretű villamos motorok sztátor lemezeinek összefogása végezhető el úgy, hogy a lemezköteget a külső átmérőhöz illeszkedő csődarabba helyezik és a csövet a lemezköteg szélénél besajtoljuk (20. ábra).

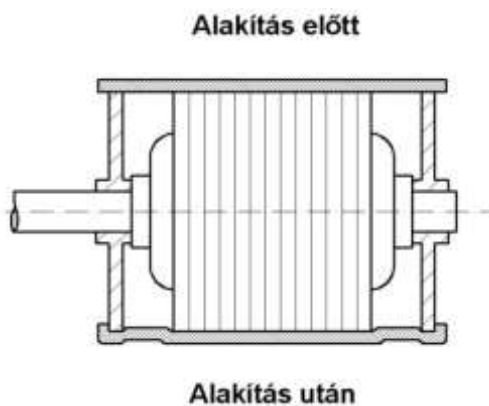
Villamos motor szerelésére mutat példát a 21. ábra is, azonban ebben az esetben a csődarab,



amely egyben a motor háza is, nemcsak az állórész összefogását végzi, hanem elektromágneses alakítással a homloklapokat is rögzíti, melyek csapágyaiba az előszerelt forgórész is be van már helyezve. Ily módon egy művelettel a teljes motor összeszerelése elvégezhető.

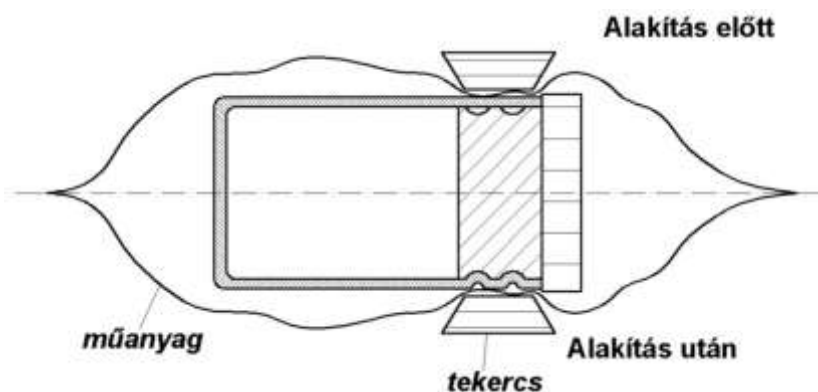


20. ábra Villamosmotor állórész lemezeinek összefogása



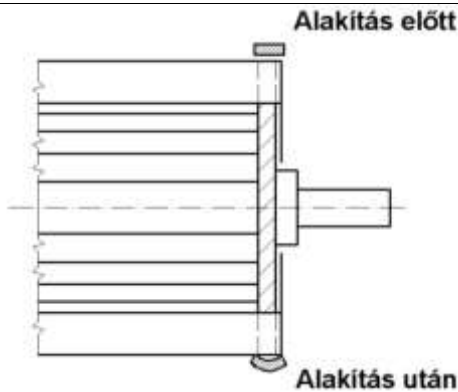
21. ábra Villamos motor házának szerelése

Különleges zárási, szerelési feladatok elvégzésére nyújt lehetőséget az a tény, hogy a mágneses tér a szigetelőanyagon áthatol (22. ábra).



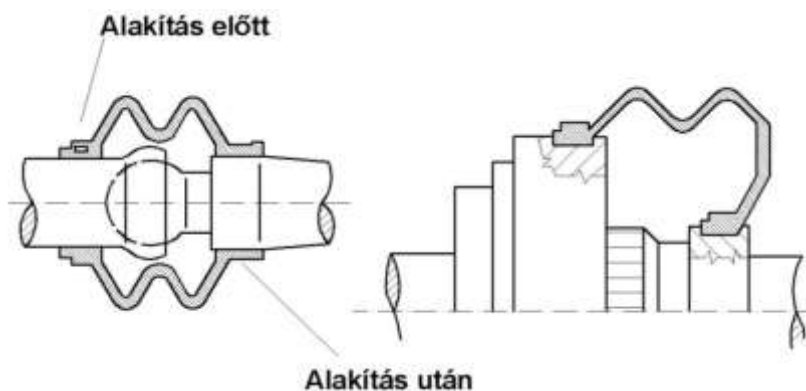
22. ábra. Légmentes térben végzett alakítás

Számos olyan eset fordul elő viszont, amikor a kívánt szerelési műveletet egy újabb elem felhasználásával lehet létrehozni. Ilyen esetekben általában gyűrű-alakú darabot, egy rövid csődarabot használnak, mellyel körülveszik az összeszerelendő alkatrészeket és a gyűrű, alakítás után, mint bilincs rögzíti azokat (23. ábra).



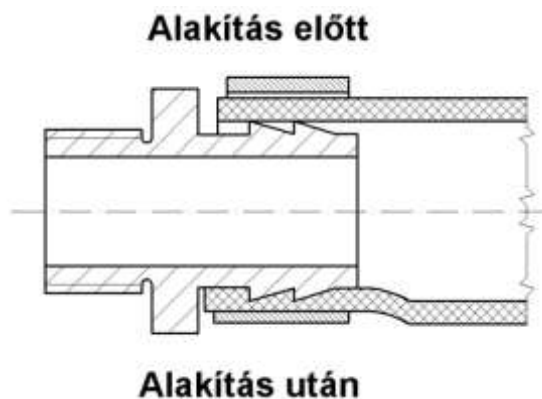
23. ábra Ventilátor járókerék szerelése

A gépjárműiparban használatos porvédő gumi hüvelyek szerelésekor is alkalmazható ez a megoldás (24. ábra).



24. ábra Gömbcsukló és féltengely gumiharangjának szerelése

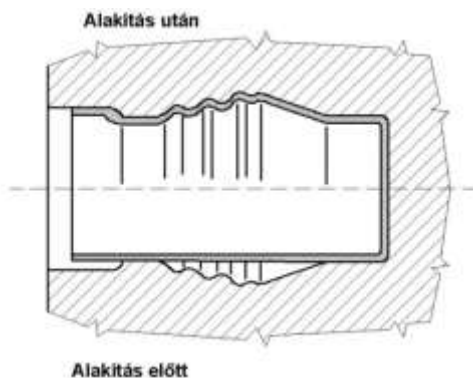
Hasonlóan az előző példához, gumitömlők, nagynyomású hidraulikus vezetékek csatlakozó elemei szerelhetők lemezbilincs helyett csőgyűrűkkel. A gyűrű a tömlőben fellépő nyomás igénybevétel szerint méretezhető, ily módon biztos kötést lehet létesíteni. Vizsgálati adatok szerint vászonbetétes, acélfonattal páncélozott, nagynyomású gumitömlők próbanyomásoknál mindig előbb széthasadtak, semmint a csőgyűrűvel, elektromágneses alakítással rögzített végződés szivárgott volna (25. ábra).



25. ábra Gumitömlő csatlakozó elemének szerelése

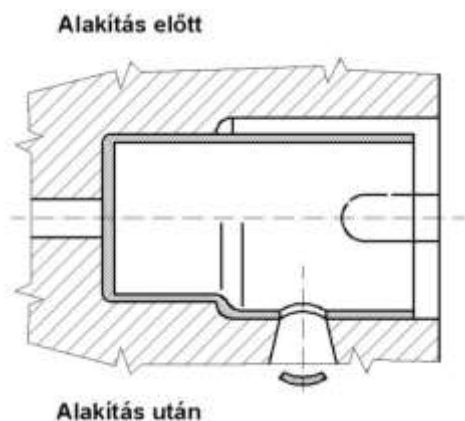
Szerszámban való alakításkor a munkadarab alakját az alakító matrica vagy betét határozza meg

oly módon, hogy az alakítandó profilt a szerszámba bemunkálják. Kisebb igénybevételek és kisebb darabszámok esetén a szerszám lehet műanyag, vagy esetleg fából is készülhet, nagyobb sorozatoknál és nagyobb igénybevételeknél általában fém, főleg acél szerszám használható. Hőkezelt acél edzett betétek alkalmazása lyukasztó és kivágó műveleteknél célszerű. A 26. ábrán látható matrica osztott, így alakítás után a két felet szétnyitva, a darab eltávolítható.



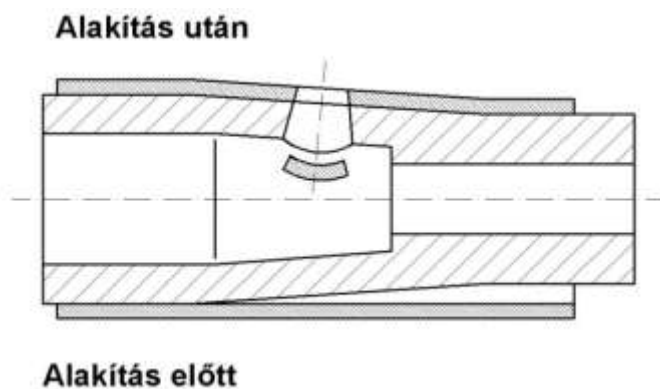
26. ábra Palástmintázással alakított darab

Ha a matrica felülete nem zárt, hanem azon kivágás vagy lyukasztás céljára kiképzett furat van, akkor ilyen jellegű műveleteket végezhető igen jó vágási felületminőséggel (27. ábra).



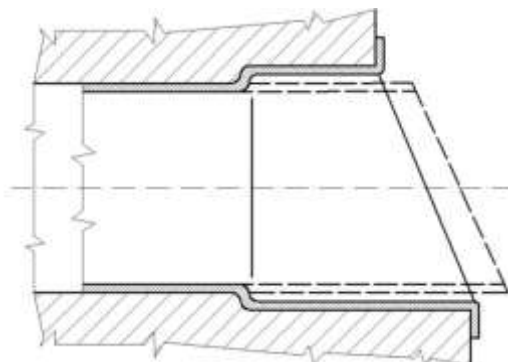
27. ábra Alakítással kombinált kivágás és lyukasztás

A 28. ábrán látható egy csődarab szűkítő alakításával kombinált lyukasztás. A szűkítő alakítás a csődarabot kúpos átmenetűre képezi ki.



28. ábra Kúpos szűkítéssel kombinált lyukasztás

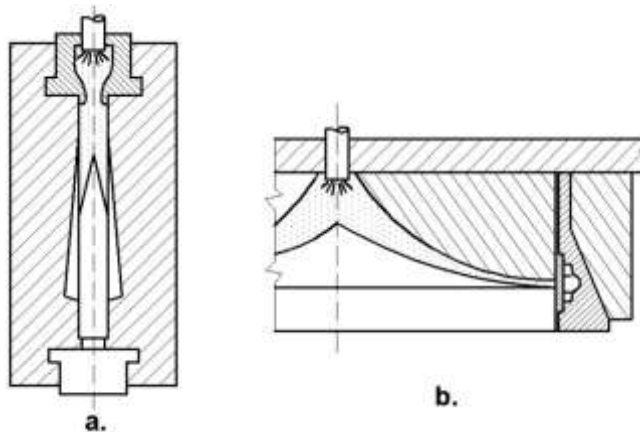
Csövek végződéseinek, csatlakozó elemek kialakításánál gyakran fordul elő feltágítás és kiperemzés. A 29. ábrán egy ferde síkban csatlakozó cső végződésének alakítása látható tágítással és perem kialakítással.



29. ábra Ferde síkban végződő csődarab tágítása és peremezése

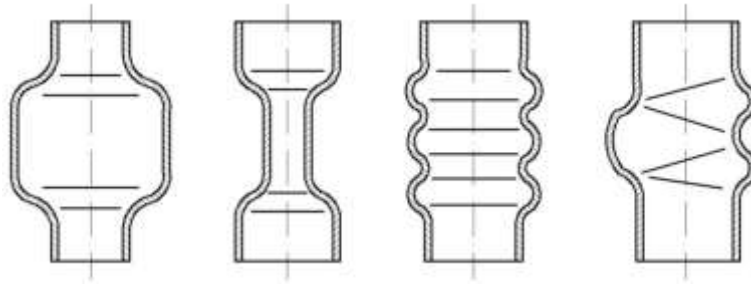
## ELEKTROHIDRAULIKUS ALAKÍTÁSI PÉLDÁK

Az elektrohidraulikus alakítás jellegzetes műveletei: üreges darabok tágítása, kalibrálása, vágása, lyukasztása, továbbá mélyhúzás jellegű műveletek és esetenként különleges kötések, szerelések megvalósítása. Miként az előzőek említették, a nyomásátadó közeg folyadék, legtöbbször víz, és a víztartály zárt. Ez azt eredményezi, hogy a nyomáshullám jól hasznosítható és megfelelően irányítható. Huzal-elgöngyöltetési módszerrel a lökeshullám nyomásintenzitását is az alakítandó munkadarab alakja szerint lehet változtatni. A zárt folyadékterben elhelyezett reflektorfelületek extrém alakítási műveleteket is lehetővé tesznek. A 30.a. ábrán olyan csődarab alakításának vázlatja látható, ahol a cső átmérőjének és hosszának viszonya 0,1-nél kisebb, a 30.b. ábrán pedig 7 az arány. Mindkét esetben a reflektorbetét tereli a lökeshullámokat.

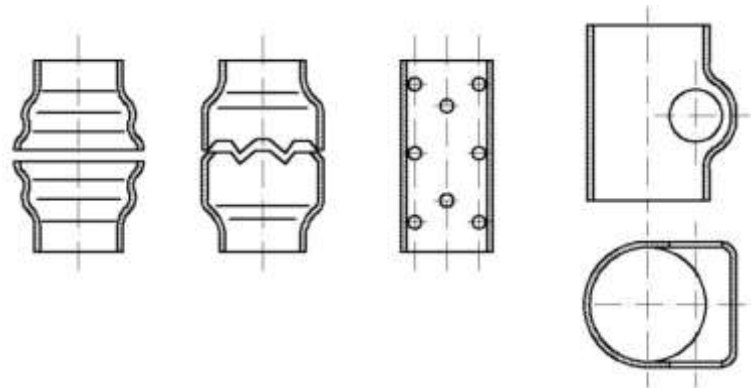


30 ábra. Reflektoros alakítású szerszámok

Az elektrohidraulikus alakítás sokoldalú alkalmazási lehetőségeinek jellemzésére a következő ábrák olyan jellegzetes alkatrész típusokat mutatnak be, melyek alapján megítélhető, milyen geometriai alakzatok alakíthatók. A 31. ábrán különböző tágítási műveletek szerepelnek. A 32. ábrán ugyancsak tágítási műveletek láthatók vágással és lyukasztással kombinálva. A vágást vagy szétválasztást azon a szakaszon célszerű végezni, ahol az alakítási művelet folyamán a munkadarab anyaga nagy sebességet ér el.

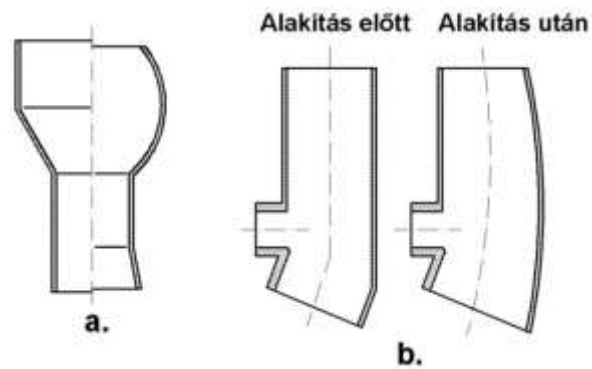


31. ábra Tágítással alakított alkatrésztípusok



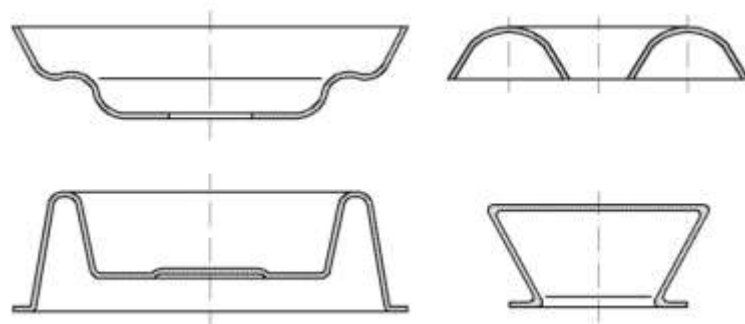
32. ábra Tágítással alakított és vágással, ill. lyukasztással kombinált alkatrészek

Csőszerű darabok alakításánál szabályos geometriai idomokból hegesztéssel összeállított előgyártmányt is használható (33. ábra).



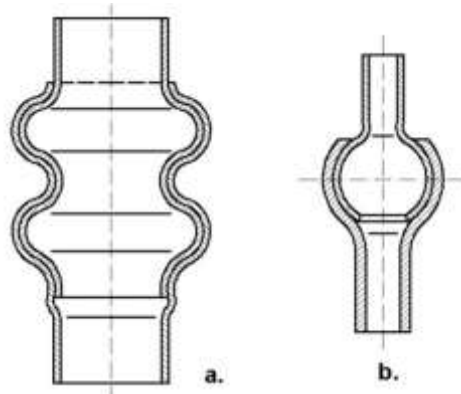
33. ábra Hegesztett kiinduló darabokból alakított alkatrészek

Sík lemeztárcsából mélyhúzás jelleggel alakított alkatrészek láthatók a 34. ábrán.



34. ábra Sík lemeztárcsából alkatrészek alakítása

Bizonyos esetekben speciális szerelési műveletek is végezhetők elektrohidraulikus alakítással. A 35. ábrán két alkatrész összeszerelése látható szilárd (a) és mozgó (b) kötéssel.



35. ábra Két alkatrész szerelése szilárd és mozgó kötéssel



36. ábra Elektrodinamikus alakítással készített alkatrészek

Az elektrohidraulikus alakításra bemutatott eddigi példák főleg nagyobb alakítási mértékkel formált darabokra vonatkoznak. Sok esetben célszerű az eljárás alkalmazása akkor is, ha viszonylag kis alakítási mértékkel kell speciális formákat kialakítani vagy kalibrálni. Üreges darabok, például dísztárgyak palástmintázása is jó eredménnyel végezhető, erre különösen olyan esetekben van lehetőség, amikor a kiinduló darab olyan alakú, hogy az elektromágneses alakítótekercs kontúrjával nem követhető. Például serlegek és más hasonló, felületükön cizellálással díszített alkatrészek mintázását lehet kézi megmunkálás helyett gépesíteni. Ilyen esetekben a mintázatot a matricába kell bemunkálni. Acél matrica esetén a minta begravírozása eléggé költséges vésnöki munka, kisebb sorozatok esetén azonban műanyagból vagy esetleg gipszből készült matrica is használható, melyet egy előzőleg kézzel mintázott darab felhasználásával könnyen el lehet készíteni.

Megemlítendő még az elektrohidraulikus módszer két különleges felhasználási lehetősége: a fémporok aprítása és az öntvénytisztítás. Egyik sem alakító eljárás, hanem az elektromos ív eróziós hatását használja ki. A zárt folyadékterű kamrába helyezett anyag rögök (pl. fémkarbidok) és a folyadékba benyúló elektródák között ív képződik, sőt ív jön létre az egyes anyag

darabok között is. A folyamatosan ismételt ívkisülések az egyes darabokat aprítják, és a felaprított darabok a berendezésbe helyezett rostán lehullnak.

Hasonló elven alapul az öntvénytisztítás is. Az öntvényekre tapadó oxidréteg és formázó anyag maradék az ív által keltett detonációs hullámok hatására leválnak. További hatásként még kihasználható az a jelenség, hogy az öntvényeken lévő esetleges felületi egyenetlenségek, kiálló csúcsok, az ív hatására leégnek, a felület simábbá válik.

A cikk a **TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások** című projekt keretében készült, amely az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] RÁCZ Pál, GÖBL Nándor, HORVÁTH Dániel: Rúd-cső kötések készítése elektromágneses alakítással. XIV. Képlékenyalakító Konferencia, Miskolc, 2012. 02. 16-17., Miskolci Egyetem, 2012, pp. 75-81. o. ISBN 978-963-661-985-5
- [2] WOODWARD S. T., WEDDELING Ch., DAEH G., PSYK V., CARSON B., TEKKAYA A. E.: Production of low-volume aviation components using disposable electromagnetic actuators. *Journal of Materials Processing Technology*, 211. (2011) 886–895. o.
- [3] WEDDELING Ch., WOODWARD S. T., MARRÉ M., NELLESEN J., PSYK V., TEKKAYA A. E., TILLMANN W.: Influence of groove characteristics on strength of form-fit joints. *Journal of Materials Processing Technology*, 211. (2011) 925–935. o.
- [4] PSYK V., RISCH D., KINSEY B. L., TEKKAYA A. E., KLEINER M.: Electromagnetic forming - A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 211. (2011) 787-829. o.
- [5] BARREIRO P., SCHULZE V., LÖHE D., MARRÉ M., BEERWALD C., HOMBERG W., KLEINER M.: Strength of Tubular Joints Made by Electromagnetic Compression at Quasi-static and Cyclic Loading. 2nd International Conference on High Speed Forming, Universität Dortmund, 2006. 107-116. o.
- [6] ERDŐSI József, GÖBL Nándor: Coil design of electromagnetic forming. *International Symposium on Dynamic Loading and its Effects*, Beijing, 1986.
- [7] GÖBL Nándor: Elektromágneses fémalakító szerszámok villamos helyettesítő kapcsolásának egységes számítási módszere. /Disszertáció/ BME – Villamosmérnöki Kar – (1977)
- [8] CZEGLÉDI Istvánné, GÖBL Nándor: Nagysebességű lemezalakító eljárások, *Gépgyártástechnológia*, 12. (1972) 7-8. 329-335. o.
- [9] GÖBL Nándor: Alumínium alkatrészek elektromágneses alakítása. Alumínium Konferencia előadásai, Székesfehérvár, 1972. okt. 5. A-II. 701-714. o.
- [10] ERDŐSI József: Elektromágneses alakítás technológiai tervezése. *Gépgyártástechnológia*, 11. (1971) 1. sz. 23-25. o.
- [11] BÜHLER H., FINCKENSTEIN E.: Beitrag zur Herstellung von Ummantelungen und Sicken Verbindungen rohrförmiger Teile durch Magnetumformung. *Bänder Bleche Rohre*, 10. (1969) 7. sz. 413-418. o.
- [12] DIETZ H., LIPPMANN H. J., SCHENK H.: Metallumformung mit hohen gepulsten Magnetfeldern. *Schweizerisch. Techn. Zeitung*, 1969. jún. 19. 25. sz. 500-510. o.
- [13] BÜHLER H., FINCKENSTEIN E.: Fügen durch Magnetumformung. *Werkstatt und Betrieb*, 101. (1968) 4. sz. 209-215. o.
- [14] BAUER D.: Erwärmung der Werkstücke bei Magnetumformung. *Bänder Bleche Rohre*, 9. (1968) 11. sz. 673-676. o.
- [15] ERDŐSI József, GÖBL Nándor: Elektromágneses alakítás. *Finommechanika*, 7. (1968) 4. sz. 97-105. o.
- [16] BROWER D. F., AYERS R. A.: Instrumentation for Magnetic Pulse Metal Forming. *S.A.E. Transactions*, 75. (1967) Okt. 282-287. o.

Román Zsolt<sup>1</sup> – Vigh László Gergely<sup>2</sup>

## ACÉLSZERKEZETŰ IRODAHÁZ TERVEZÉSE KÜLSŐ ROBBANÁSTERHERRE<sup>3</sup>

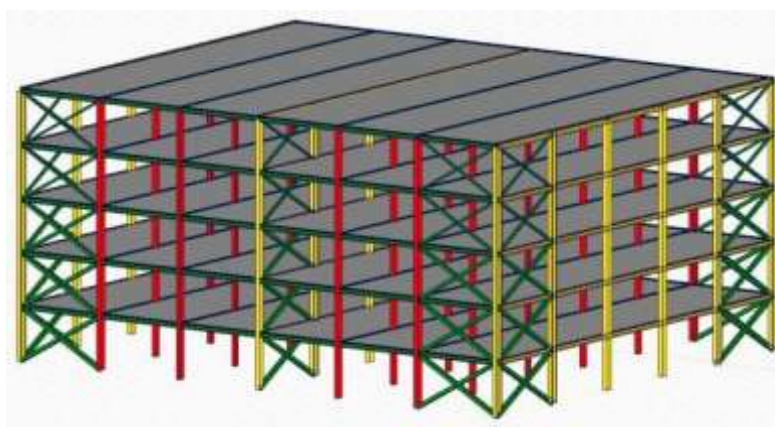
*A rendkívüli terhekre történő tervezés eddig itthon elhanyagolt részét képezi a robbanástérhekre történő méretezés. E cikk keretein belül ismertetésre kerül a tervezési folyamat főbb részeinek összegzése. Az épület először hagyományos terhekre lett megtervezve, valamint magyarországi földrengési hatásra. Ezután egy terrorista támadást feltételezve robbanási hatásra lett vizsgálva az épületet. Az emberélet védelmét szem előtt tartva, és a szerkezeti vizsgálatok alapján belátjuk, hogy a szabványos védőtávolságoknak létjogosultságuk van, valamint robbanásálló üvegezés is szükséges. A módosítások után a dinamikai méretezési eljárás kerül elvégzésre, és kimutattuk hogy a szerkezet megfelel. Ehhez disszipatív, energiaelnyelő kereteket kellett tervezni.*

### DESIGN OF AN AIRPORT OFFICE BUILDING FOR EXTERIOR BLAST LOADING

*Structure design for external explosions caused by terrorist attacks is quite an unusual and new part of structural engineering. Within this study, the details of the design procedure will be presented. The building was first designed to withstand conventional loads including hungarian seismic effects. Then we assume a terrorist attack (car bomb) and check the building for this. Considering protection of human life and the structural integrity, we show that safety distances are required, together with blast resistant glazing. After carrying out the required modifications we do a dynamic design calculation and show that the structure is adequate. This required the frames to be designed as dissipative.*

### AZ ÉPÜLET ISMERTETÉSE

A vizsgált épület egy 6 méteres raszterű, 30 m\*36 m alapterületű, 5 szintes, 17 m magas épület. Az 1. ábrán látható az épület térbeli nézete, a 2. ábrán az általános alaprajz.



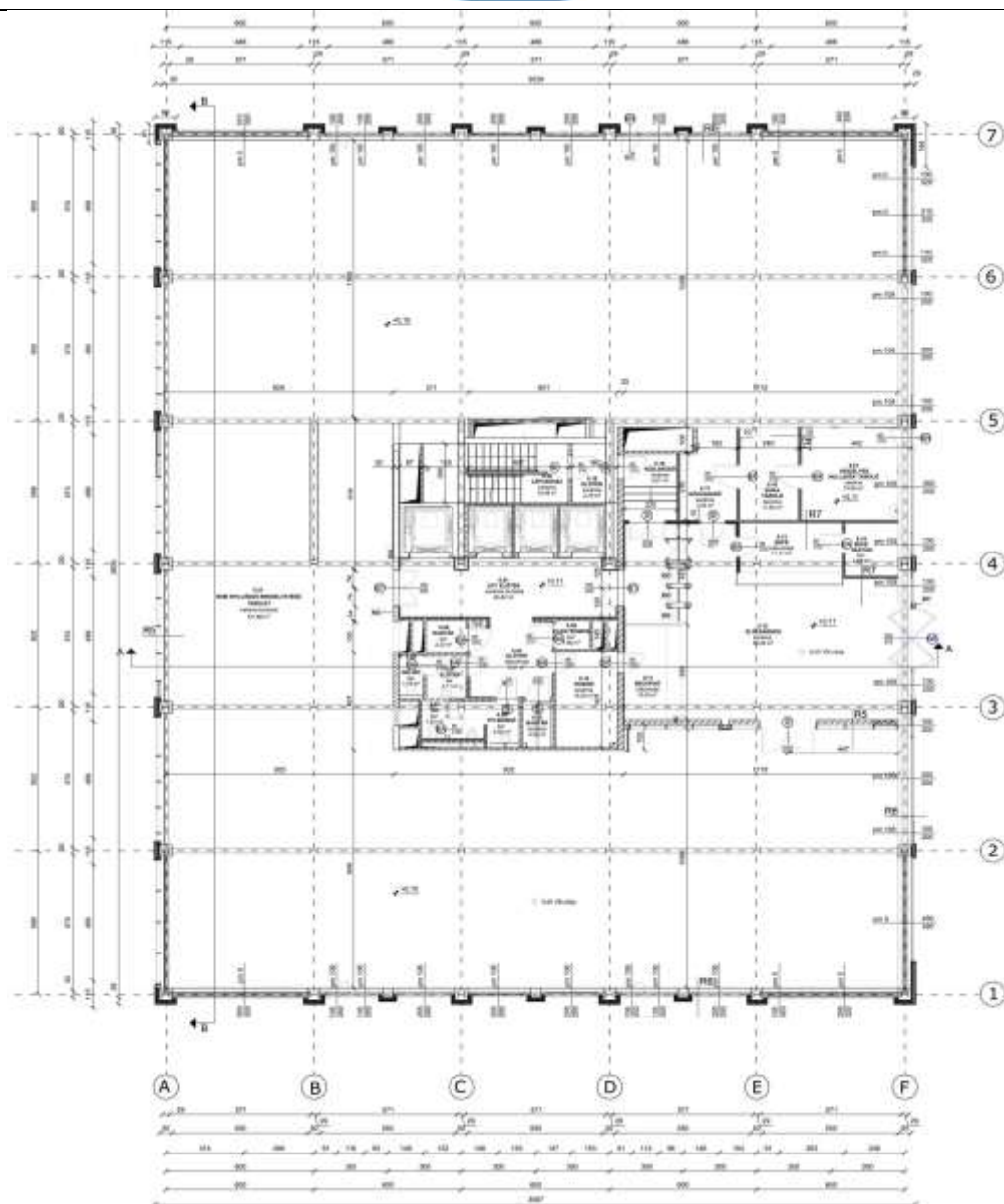
1. ábra Az épület térbeli nézete [1]

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Kar, zsolt.roman@gmail.com

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszék, geri@vbt.bme.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Lukács László, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Műszaki szakcsoport, lukacs.laszlo@uni-nke.hu





2. ábra Általános alaprajz [1]

A 30m-es fesztávon merev keretállásokat alkalmazunk, a másik irányban csuklósak a kapcsolatok, az épület sarkaiban rácsos merevítőrendszer kerül elhelyezésre. A 4. táblázatban bemutatásra kerülnek a kiindulási és a végső szerkezet szelvényei is. A hagyományos terhekre történő méretezés ismertetésétől jelen cikkben eltekintünk.

## DINAMIKUS TERHEK TERVEZÉSI KÖVETKEZMÉNYEI

### ANYAGJELLEMZŐK VÁLTOZÁSA

Dinamikus terhelésnél az anyagok másképp viselkednek, mint statikus terhelésnél. Fémeknél a fémszerkezetben a kristályokban lévő hibák, diszlokációk az alakváltozás során elrendeződnek, kisimulnak. Ha hirtelen terhelést kap az anyag, akkor ezek a diszlokációk felhalmozódhatnak, összesűrűsödhetnek, ami a mechanikai jellemzők növekedését okozza. Acélnál a sza-

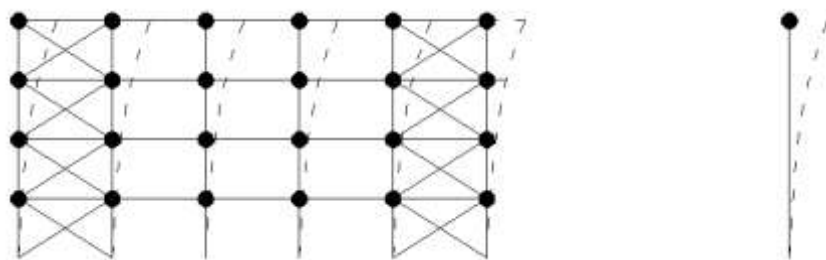
kítószilárdság változik, betonnál a rugalmassági modulus és a szilárdsági értékek is. Az összehasonlítás alapja az ún. nyúlássebesség, vagy terhelési arány (strain rate), melynek mértékegysége Hz. A terhelés frekvenciája a vizsgált szerkezeti elem alakváltozásából és az ennek folyamán történő acélmegfolyásig eltelt időtartamból számítható. Tipikus terhelési frekvenciák: földrengés esetén  $10^{-1}$  Hz, ütközéseknél  $10^1$  Hz, robbanásoknál  $10^3$  Hz. A szilárdsági értékek növekedését figyelembe vevő szorzótényező értéke az adott igénybevétel (húzás, nyomás, hajlítás, nyírás) típusától is függ, valamint attól hogy a képlékeny alakváltozást mérő duktilitási arányszám 10 alatt vagy felett van, de általánosságban kimondható, hogy 10% körüli növekedést lehet feltételezni, és ez igen konzervatív megközelítés.

## HATÁRÁLLAPOTOK

Mint minden tervezési feladatnál, a robbanásra történő tervezésben is definiálni kell a határállapotokat. A szerkezeteket gazdaságosan csak úgy tudjuk megtervezni, hogy kihasználjuk a képlékeny alakváltozási képességüket. A képlékeny tartományban azonban a határállapotok definiálása nem annyira egzakt, mint rugalmas tartományban, a mérnöki szubjektivitás is megjelenik tényezőként. Egyrészt korlátozni kell a képlékenyedés mértékét, hogy az adott elem ne érje el a szakadását eredményező alakváltozást, ezt a szilárdsági szempontból történő határállapotot acélszerkezeteknél a rugalmas és képlékeny alakváltozás hányadosaként értelmezett duktilitási tényező szabja meg, míg vasbeton-, és falazott szerkezeteknél a relatív csomóponti elfordulások a meghatározók. A szilárdsági megközelítés mellett globális értelemben a geometriai nemlinearitás is figyelmet követel. A túlzott alakváltozás következtében felerősödhetnek a másodrendű hatások, és ez főleg globális szinten, de akár lokalizált tönkremenetel esetén is láncreakciót indíthat be a romosodási folyamatban. Megjegyzendő, hogy a szakirodalomban többféleképpen is közölt alakváltozási határértékek meghatározásának a megfontolásai, feltételezései, illetve az, hogy milyen tönkremenetelt igyekszik elkerülni, nincsenek publikálva. Szintén nincsen publikálva megfelelően, hogy mit neveznek a szerzők „mérsékelt”, illetve „súlyos” romosodási szintnek a táblázatok készítésénél.

## MÉRETEZÉSI ELJÁRÁSOK

A gyakorlati méretezési eljárások mind egyszabadságfokú rendszerekre lettek kidolgozva. A 3. ábrán látható egy általános merevített acélszerkezetű keretállás. A csomópontokba redukált tömegek figyelembevételével ez egy többszabadságfokú rendszer. A rezgésalakokban a tömegcsomópontok eltérő amplitúdóval szerepelnek, így a dinamikai egyenletek hosszadalmas mátrix-számításokra vezetnének.



3. ábra Helyettesítő egyszabadságfokú rendszer

Ezt elkerülendő, néhány egyszerűsítéssel élve a 3. ábrán látható jobb oldali egy tömegcsomópontú, egyszabadságfokú rendszerre alakítjuk az épületet. Az ekvivalens rendszer attól lesz ekvivalens, ha egyenértékűsítjük a rá ható erőket, illetve a tömegét.

A redukálás alapja az, hogy a redukált teher által az ekvivalens rezgőrendszeren végzett külső munka legyen egyenlő a ható teher vizsgált elem feltételezett alakváltozása során végzett külső munkájával, valamint, hogy az ekvivalens rezgőrendszer kinetikus energiája egyezzen meg a vizsgált szerkezet kiválasztott alakváltozáshoz tartozó kinetikus energiájával.

A nagy képlékeny alakváltozásokhoz, többszabadságfokú rendszerekhez ugyan korlátozottan, de használható a dinamikus tényezőn alapuló eljárás, amikor helyettesítő statikus terhet alkalmazunk. Ettől sokkal pontosabb és általánosabb megoldást ad a gerjesztett rezgőmozgás nem-lineáris differenciálegyenletének numerikus megoldása. Ha a lökészerű terhelés lecsengési ideje kellően kicsi, akkor csupán a lökés impulzustartamára kell méretezni a szerkezetet, erre az esetre lett kidolgozva egy elegáns mérnöki eljárás, az energiaegyensúlyi egyenlet.

## AZ ENERGIAEGYENSÚLYI EGYENLET

Az eljárás elve a következő: a külső teher által kiváltott kinetikus energia legyen egyenlő a tartó belső, egy adott  $x_m$  lehajlásig kialakuló alakváltozási energiájával. Az alakváltozási energia a teherbírásfüggvény alatti terület. A külső kinetikus energia az impulzusból a következőképp számítható: egy kezdetileg nyugalomban lévő rendszert a rá működtetett impulzus

$$\dot{x}_0 = \frac{I}{M} \quad (1)$$

sebességre gyorsít. Ebből a rendszerbe bevitt kinetikus energia:

$$KE = \frac{1}{2} M \dot{x}_0^2 = \frac{I^2}{2M} \quad (2)$$

ahol:

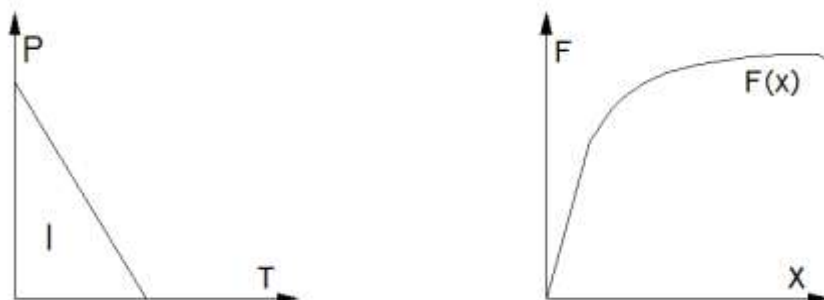
- $x$  a rendszer elmozdulása;
- $I$  a szerkezetre ható impulzus (4. ábra/a);
- $M$  a teljes szerkezet tömege;
- $KE$  a rendszerbe bevitt kinetikus energia.

Ezzel az energia mennyiséggel kell egyensúlyt tartania a tartó alakváltozási energiájának. Az egyensúlyi egyenlet bal oldalán alkalmazni kell az egyszabadságfokú redukciót, a jobb oldalra pedig a szerkezet erő-elmozdulás függvénye alatti terület kerül (4. ábra/b). Ebben az egyenletben az ismeretlen az  $x_m$ , az az elmozdulás ahol beáll az energiaegyensúly.

$$\frac{I^2}{2MK_{LM}} = \int_0^{x_m} F(x) dx \quad (3)$$

Az egyenletben:

- $K_{LM}$  a teher és tömegtényezők hányadosa;
- $F(x)$  a szerkezet erő-elmozdulás függvénye.

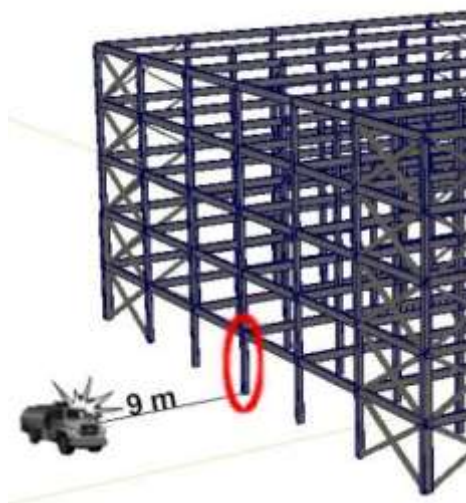


4. ábra Tipikus teherfüggvény (a) és teherbírásfüggvény (b)

## ROBBANÁSTEHER VIZSGÁLATA

### KIINDULÁSI ÁLLAPOT, I. VÁLTOZAT

Egy közelítő kockázatelemzés során a feltételezett robbanóanyag mennyiség (személyautó kategóriájú autóbombát feltételezve) 455 kg TNT-re adódott. Ezt kezdetben viszonylag közel, az épülettől 9 méterre tételezzük fel (5. ábra). A lökeshullámból származó terhek felvételének bemutatásától itt eltekintünk, eredményként 0,96 MPa homlokzati túlnyomást kapunk, melynek lecsengési ideje 4 ms.



5. ábra Tipikus teherfüggvény és teherbírásfüggvény [1]

Ekkora túlnyomás esetén az épület homlokzatának integritása nem tartható, számolni kell a nyílászárók tönkremenetelével. Ebben az esetben a lökeshullám által terhelt felület csupán az oszlopok saját szélessége. A hatalmas nyomás miatt így is azt mutatták a számítások, hogy az oszlopok megfelelősége csak a magasépítésben szokásos legmagasabb, S355 acélminőség esetén felelne meg. Emellett lényeges pont egy másik határállapot vizsgálata is, az emberi élet védelme. A nyílászárók tönkremenetele miatt a belső térbe bejutó lökeshullám súlyos emberi áldozatokkal járna.

A vizsgálatot az amerikai hadsereg által kidolgozott TM 5-1300 [2] útmutatója alapján végezzük el. A 3-5 ms lecsengési időknél az 1. táblázatot lehet használni. A táblázat alapján akár az

oldalirányú túlnyomást, akár a visszavert túlnyomást vesszük alapul, közel 100%-os a halálzási arány. Tehát az ablak mellett dolgozó emberek életveszélyben vannak, még akkor is, ha a repeszhatástól eltekintünk, és csak a túlnyomás tüdőre és fülre gyakorolt hatása alapján értékelünk. A túlnyomás értékek az épületben haladva csökkennek, de a földszint és az első emelet valószínűleg teljes területén a halált okozó érték felett maradnak.

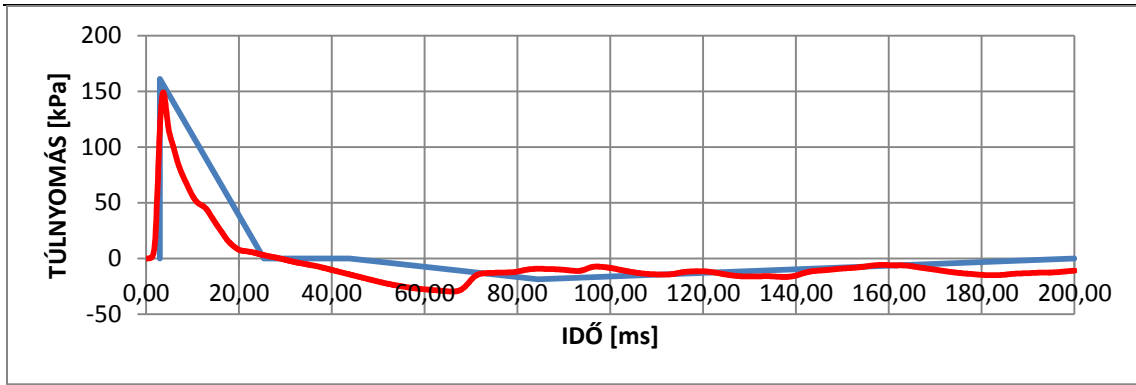
Vizsgált testrész	Ható túlnyomás [kPa]
Dobhártya szakadás	
Küszöbérték	35
50%	100
Tüdőkárosodás	
Küszöbérték	200-280
50%	415<
Halál	
Küszöbérték	690-830
50%	900-1240
Közel 100%	1380-1720

1. táblázat 3-5 ms-os lökeshullámok által kiváltott sérülés valószínűsége [2]

## II. VÁLTOZAT

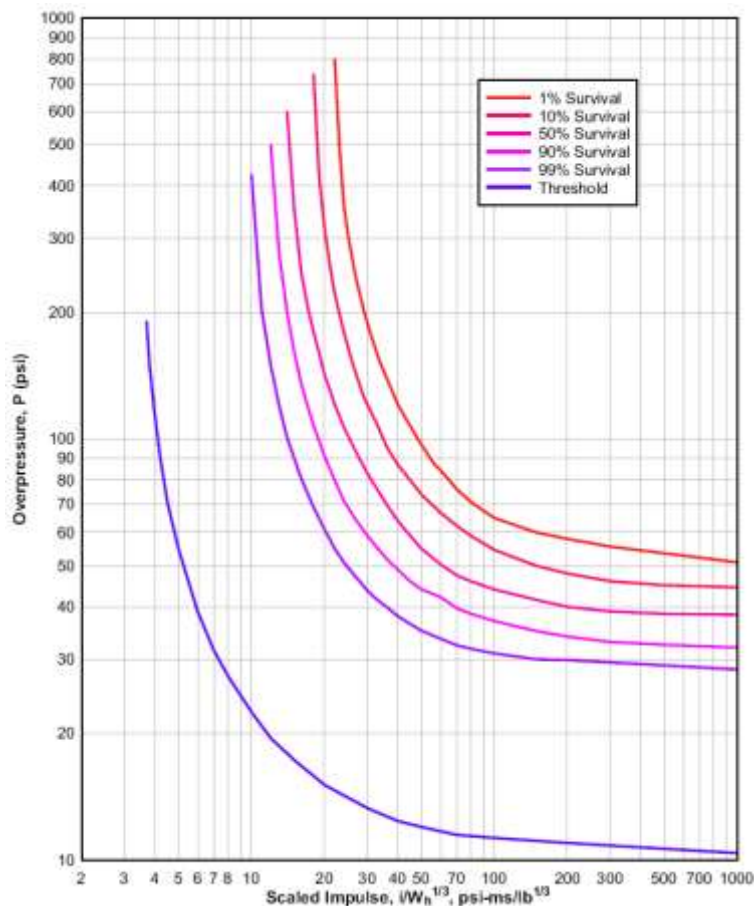
A fentiekből belátható, hogy szükségzerű a robbanási pontot távolabb vinni az épülettől. Ez gyakorlatilag a biztonsági távolság előírását jelenti. Az előírások [4] alapján 45 m-es biztonsági távolságot alkalmaztunk. A nagyobb távolsággal együtt a robbanóanyag mennyiséget is növeltük, teherautó kategóriát feltételezve 1410 kg TNT egyenértékkel végezzük tovább a számításokat. Ez a robbanási szituáció a 6. ábrán látható teherfüggvényt okozza a homlokzaton (161 kPa túlnyomás, 22 ms lecsengési idő). Mivel ebben a szituációban nagy jelentősége van annak, hogyan modellezzük azt, ahogy a lökeshullám megkerüli az épületet, elvégeztük a teherfelvételt egy pontosabb eljárással is.

Lökeshullámok testekre gyakorolt hatásának modellezésére a numerikus áramlástan (CFD) alapjain nyugvó szoftverek alkalmasak. Ahhoz hogy megoldhatóvá váljon a lökeshullám térben történő lefutását leíró egyenletrendszer, előbb mélyrehatóan meg kellett ismerni két fizikai jelenséget: a Rankine és Hugoniot által leírt, lökeshullámban történő szinguláris állapotváltozásokat, illetve a Mach által leírt Mach visszaverődéseket. Az 6. ábrán pirossal került feltüntetésre a CFD számításból nyert homlokzati teherfüggvény. Megfigyelhető, hogy a két módszerrel számolt két túlnyomási csúcserték megegyezik, az elérési idő, fázishosszak is megegyeznek, azonban az impulzus tekintetében 30-40%-os különbség is van, tehát belátható, hogy az empirikus formula konzervatív.



6. ábra Homlokzat teherfüggvénye Empirikus és CFD eljárással számítva

Az előbbieken kritikus emberélet védelmi szempontokat most más táblázatok alapján ellenőrizzük a megváltozott robbanási paraméterek miatt. 80 kg-os embert feltételezve a 7. ábrán látható összefüggések szerint ebben az esetben 1% alatti a sérülés valószínűsége.



7. ábra Tüdőkárosodások valószínűségi nomogramja [2]

A fülkárosodás vizsgálatára ebben a lecsengési idő tartományban az arányosított távolság függvényében kerülhet sor. A 2. táblázat alapján esetünkben ( $Z=3,835 \text{ kg/m}^{0.333}$ ) 40% körüli a dobhártyaszakadás valószínűsége, amit indokolt esetben még elfogadhatónak tartunk.

Arányosított távolság [m/kg <sup>0.333</sup> ]	Túlnyomás [kPa]	Dobhártya-szakadás [%]
5.63	35.6	5
4.88	45.4	10
3.93	67.7	25
3.13	105	50
2.54	163	75
2.14	243	90

2. táblázat dobhártya szakadás valószínűsége az arányosított távolság függvényében [3]

A repeszhatás vizsgálata a 3. táblázat alapján történik, ahol az van megadva, hogy mekkora tömegű törmelék (repsz) mekkora sebességnél okoz súlyos sérülést a különböző testrészeken (törzs, végtagok, fej). A repeszek sebességét a lökéshullámot követő légréteg sebességével vesszük fel, mely a többi robbanási paraméterrel együtt meghatározható mennyiség. 125 m/s-os sebességre azt kapjuk hogy a legkisebb repeszek is súlyos sérüléseket okoznak, amit nem tartunk elfogadhatónak.

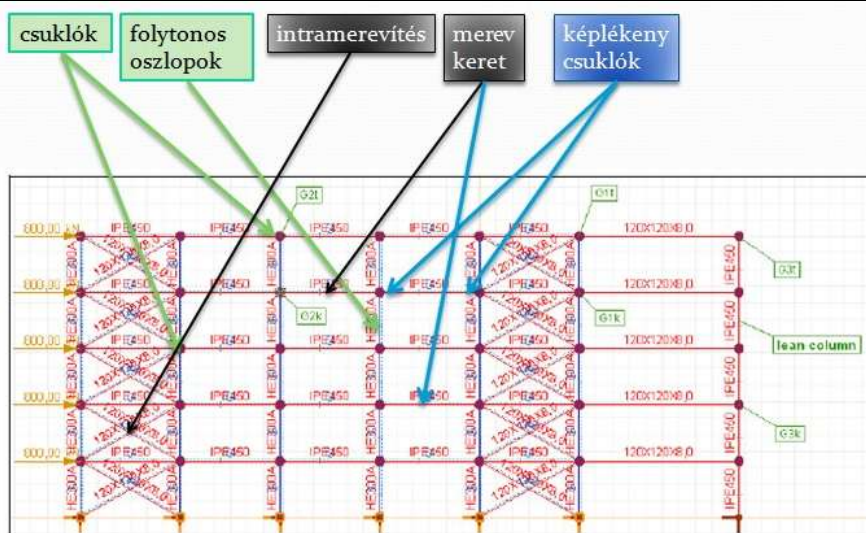
Vizsgált testrész	Repsz tömeg [g]	Repsz sebessége [m/s]	Energia [J]
Törzs	>1100	3	5
	45	24	13.5
	0.5	120	3.4
Has és végtag	2700	3	12.2
	45	23	12.2
	0.5	170	6.8
Fej	3600	3	16.3
	45	30	21.7
	0.5	140	4

3. táblázat Súlyos sérüléseket kiváltó repesztípusok [2]

### III. VÁLTOZAT

Az előző pontban kimutatásra került, hogy a biztonsági távolság ellenére szükség van a robbanásálló nyílászárókra. Ezeket nem szükséges külön megtervezni, lehet előre gyártott robbanásálló nyílászárókat beszerezni adott túlnyomásra és impulzusra. A továbbiakban ilyen ablakok feltételezésével hajtjuk végre a szerkezet globális vizsgálatát. A globális vizsgálatra azért van szükség, mert azzal, hogy az ablakok nem törnek be, a terhelési felület számottevően megnő. Három szerkezeti kialakítást hasonlítottam össze, ezek a 8. ábrán láthatók:

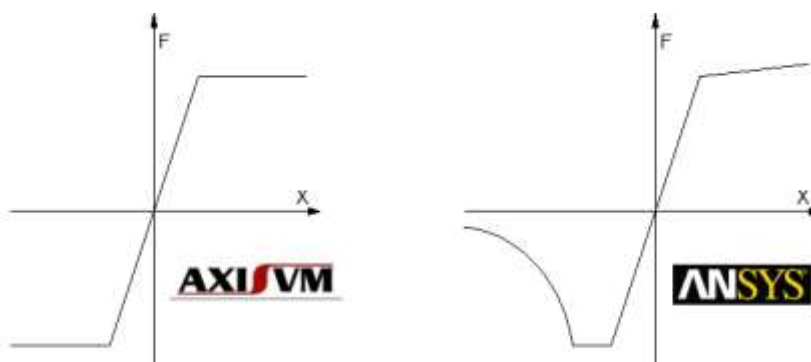
- csuklós váz, hagyományos terhekre tervezve;
- merev keret képlékeny csuklók nélkül;
- merev keret képlékeny csuklókkal.



8. ábra A globális vizsgálatnak alávetett három különböző kerettípus

Az elnyelt energia meghatározásához szükséges kapacitásgörbe a földrengés-tervezésből ismeretes eltolás vizsgálat (pushover analízis; nemlineáris statikus analízis) segítségével számítható. Az erő-elmozdulás függvény számításakor figyelembe vesszük a geometriai nemlinearitást, a szerkezetben kialakuló képlékeny csuklókat, a nyomott rácsrudak kihajlását, és a húzott rácsrudak megfolyását is.

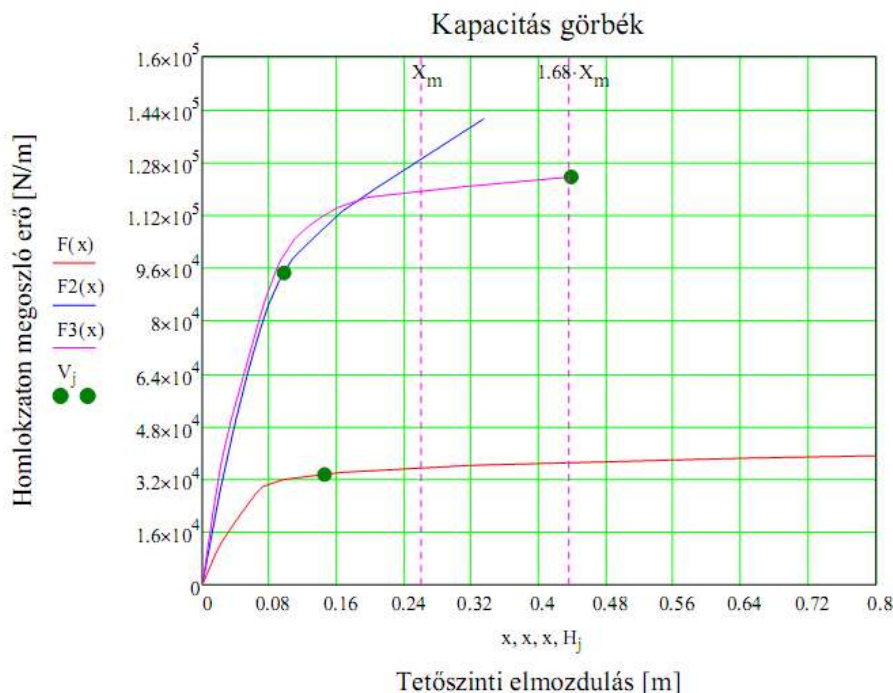
Az erőrendszernek a magasság mentén tükröznie kell a teher eloszlását, ez jelen esetben a sík hullámok elvének feltételezése miatt egyenletes teherelosztást jelent. A számításokat elvégeztük az InterCad Kft. AxisVM szoftverével, majd ellenőrzést készítettünk az ANSYS rendszerrel. Az AXIS-ban a képlékeny csuklók helyét előre kell definiálni a határnyomatéki értékkel együtt. A képlékeny anyagmodell nagyon egyszerű, egy tökéletesen rugalmas-képlékeny M- $\theta$  (nyomaték-görbület) karakterisztikájú csomópontot modellezünk. Húzott-nyomott elemek nemlineáris karakterisztikája is megadható, tehát a nyomott rácsrudak kihajlási ellenállása lett beállítva határnyomóerőnek. A 9. ábrán látható a különbség az AXIS-ban és ANSYS-ban alkalmazott húzott és nyomott rudak karakterisztikája között.



9. ábra Az AXIS és ANSYS által használt húzott-nyomott rúdtípusok

Az oszlopok kifordulási ellenállása alapján meg lett határozva egy „szilárdságilag lehetséges teherszorzó”. Erre azért volt szükség, mert a szoftver ennél tovább terheli a szerkezetet.





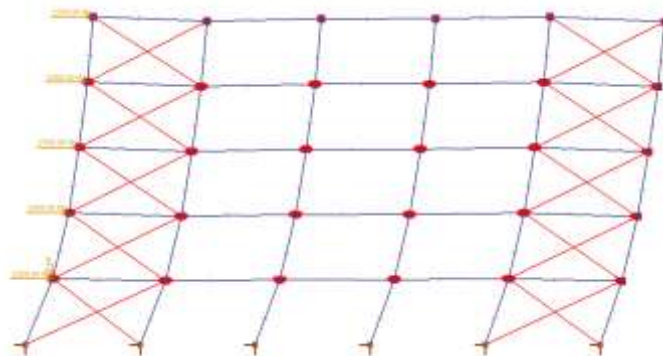
10. ábra A három változat kapacitásgörbéi [1]

A 10. ábrán a három keret kapacitásgörbéje látható (pirossal a csuklós váz, késsel a merev keret, lilával a képlékeny csuklós modell). A zöld pöttyök jelzik a szilárdságilag lehetséges értéket (ahol még az oszlopok állékonyak). Az  $X_m$  jelölésnél áll be az energiaegyensúly, azonban ki lett mutatva ennek 168%-os túllépésének a lehetőségét is. A 26 cm-es tetőszinti eltolódáshoz tartozó tönkremenetelt a 11. ábra mutatja, melyen pirossal a kialakult képlékeny csuklók is láthatók. A 4. táblázat foglalja össze, milyen szelvény, és anyagminőség változtatásokat kellett végrehajtani a szerkezeten.

A (3)-as egyenlet bal oldala alapján megállapítható az is, hogy a szerkezetre ható kinetikus energia csökkentése szempontjából előnyös:

- ha a robbanás rövid lecsengési idejű,
- ha a szerkezet tömege nagy (ellentétben a földrengés esetével, ahol a tömeg hátrány),
- ha a szerkezet merevsége, és tömegeloszlása olyan, hogy az alakfüggvény miatt a  $K_{LM}$  tényező nagy (ilyet okozhat például egy más típusú merevítőrendszer).

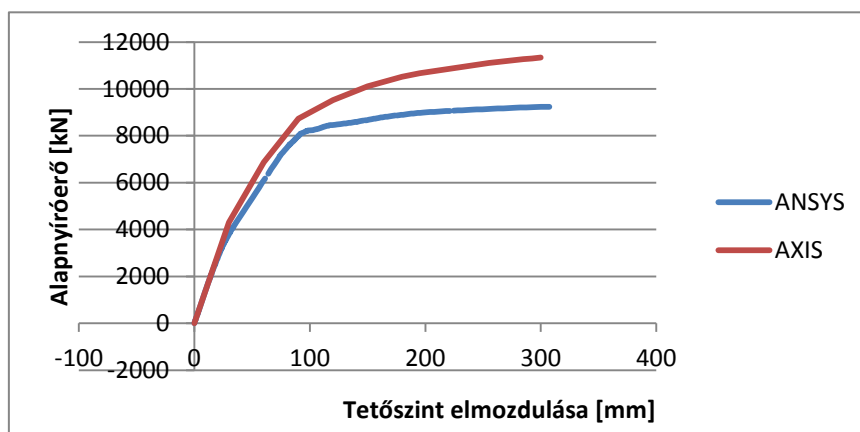
Az egyenlet jobb oldalán a teherbírás szerepel, itt előny ha a szerkezet duktilis, vagyis szerkezeti tönkremenetel nélkül is képes legyen nagy elmozdulásokat produkálni, ezáltal minél nagyobb energiát elnyelni. Ha egy túl merev szerkezet esetén a szükséges elnyelt energia oly módon adódik a teherbírásfüggvény integráljából, hogy az inkább „magas” és nem elnyúló, az azt jelenti, hogy a nem disszipatív elemekre túl nagy igénybevételeket hárítunk, a szerkezet kialakítása nem optimális.



11. ábra A 26cm-es eltolódáshoz tartozó egyensúlyi állapot

A 10. ábra alapján kijelenthető, hogy:

- a csuklós keret teherbírása rendkívül alacsony,
- a merev keret sokkal erősebb, de az elmozdulási képessége igen csekély,
- a harmadik változatban megfigyelhető egy folyási felület, ebben a régióban alakulnak ki a képlékeny csuklók, inentől kezdve kis tehernövekmény is nagy elmozdulást okoz. Az elnyelt energia a görbe alatti terület, ez a terület gyorsan növekszik a folyási plató elhagyásával, ami mutatja, hogy az igazi energiaelnyelés a képlékeny szakaszban történik.



12. ábra Az AXIS és az ANSYS által számolt kapacitásgörbék

A kapacitásgörbe számításának ellenőrzése az ANSYS-szal lett elvégezve (12. ábra). Jól látható hogy az ANSYS kisebb teherbírást határozott meg. Ennek oka a 9. ábrán látható ellágyuló nyomott rúd karakterisztika, illetve a geometriai nemlinearitás pontosabb kezelése. Megállapításra került még továbbá, hogy a húzott oldali felkeményedő anyagmodell nem ellensúlyozza a nyomott rúd előnytelen viselkedését, hatása a szerkezet kapacitásgörbéjén nem számottevő. (Ugyanakkor a numerikus számítás konvergenciájára jótékony hatással van, tehát hozzájárul az eredményes számításhoz.)

Az energiaegyensúlyi egyenletet akkor lehet használni, ha rendkívül kicsi lecsengési idejű terhekkel foglalkozunk, különben nem ad megbízható eredményt. Ennek oka az, hogy a teherfüggvény alakjának hatása a szerkezet válaszára csak akkor csökken le, ha kellően kicsi a lecsengési idő az épület válaszidejéhez képest. Ekkor csak a teherfüggvény alatti terület, tehát az impulzus az, ami számít. A szakirodalom a „rendkívül kicsi lecsengési idő” fogalmát úgy

határozza meg, hogy a robbanás lecsengési ideje és a szerkezet alakváltozásához szükséges idő aránya legyen nagyobb 3-nál, az energiaegyensúlyi egyenlet használata ekkor igazolt. A szerkezet elmozdulásához szükséges időt közelítőleg a

$$t_m = \frac{I}{\int_0^{x_m} F(x) dx \cdot F(x_m)^{-1}} = 210 \text{ ms}$$

képlettel kapjuk, ahol:

- $t_m$  az  $x_m$  alakváltozáshoz szükséges időtartam;
- $I$  a teher impulzusa;
- $F(x)$  a teherfüggvény;
- $x_m$  az energiaegyensúlyhoz szükséges eltolódás.

Ez az érték a 22 ms-os lecsengési idővel 9,4-es arányszámot ad, tehát helyes volt az energiaegyensúlyi egyenlet használata.

	Kiindulási szerkezet	Végleges szerkezet
Oszlopok	HEA300 - S235	HEM450 - S460
Gerendák	IPE450 - S235	HEB300 - S355
Rácsrudak	SHS120 - S235	HEA140-HEA260- S355
tonna/keret	24	52

4. táblázat A kiindulási és végleges keret szelvényei

Konzervatív tervezést hajtottunk végre abból a szempontból, hogy a szerkezet 150%-os túlterhelésre lett méretezve. A csomópontok, és minden más szerkezeti elem erre a teherszintre lett megfeleltetve. Továbbá a következő feltételek teljesülését kell még kimutatni:

A TM5-1300 [1] előírás szerint vizsgálni kell a rácsozott keretállások duktilitását (rugalmas és képlékeny alakváltozás hányadosa), ami a

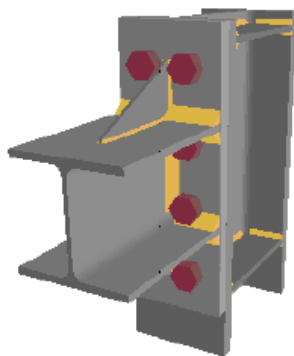
$$\mu = \delta \cdot (\cos \gamma)^2 \cdot \frac{E}{L \cdot f_y} = 7,2$$

- képlettel számolva az előírások szerinti 10-es értéknél kisebbet ad, tehát megfelel. A képletben:
  - $\mu$  a rácsozott duktilitási tényező;
  - $\delta$  az X rácsosú téglalap torzulása miatt kialakuló vízszintes elmozdulás;
  - $\gamma$  a rácsrudak és a vízszintes által bezárt szög;
  - $E$  rugalmassági modulus;
  - $L$  rácsozott keretállás szélessége;
  - $f_y$  rácsrudak folyási feszültsége;
- a húzott rácsrudak nem érhetik el a szakadó nyúlásukat;
- A TM5-1300 [1] szerint a maximális tetőponti elmozdulás  $H/25$ , ( $H$  az épület magassága) ami a vizsgált épületnél 68 cm-es kilengést engedélyezne, ennek a meghatározott 26 cm-es célelmozdulás bőven megfelel;
- Az anyagszilárdságok növelő tényezői a lehető legkisebbre lettek felvéve, pontosabb számításokkal nagyobb dinamikus anyagszilárdságok is kimutathatóak volnának.

## CSOMÓPONTOK

A fő teherviselő keretben az oszlop-gerenda kapcsolat kialakítása a kritikus (13. ábra). A merev, és teljes szilárdságú kapcsolat létrehozása komoly anyagszilárdságot és pontos kivitelezést igényel, a homloklemez esetén érdemes teljes beolvadású tompavarratot létrehozni a biztos teherviselés érdekében. A kapcsolat kialakítást uraló egyéb szempontok szinte mind a képlékeny csukló zavartalan kialakulását szolgálják, ezek a teljesség igénye nélkül:

- a gerendák 1. keresztmetszeti osztályúak;
- az oszlop számítása S355 minőséggel történik, de S460 minőség lesz előírva;
- a csukló helyét messzebb érdemes tenni a kapcsolattól, ezt az övek lokális kigyengítésével szokták elérni, vagy használhatunk szimmetrikus kiékelést is;
- a képlékeny csuklóban minimum 25 mrad elfordulási képességet kell biztosítani;
- a képlékeny csukló nem alakulhat ki a húzott rácsrudak megfolyása előtt;
- az oszlopon gerincmervítőket kell alkalmazni;
- nyíróerővel ne legyen interakció a gerendavégen.

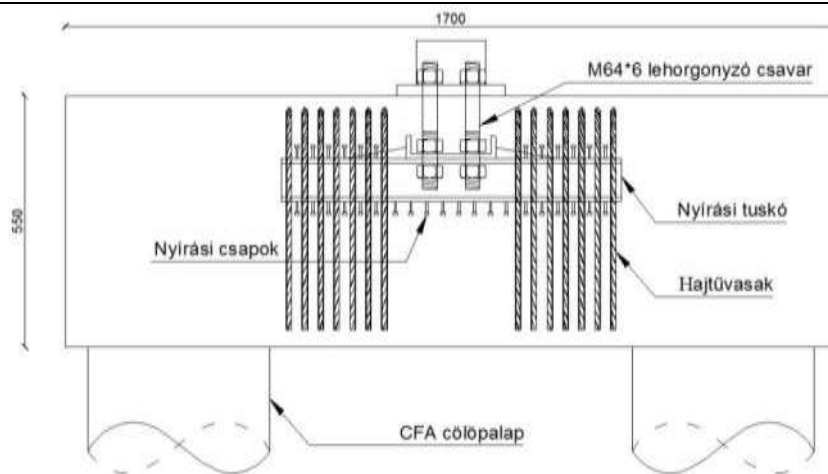


13. ábra Merev oszlop-gerenda kapcsolat a képlékeny csuklónál

A másik kritikus kapcsolat a merevített keretállások oszloptalpa (14. ábra). Ezekbe a talpcsomópontokba több ezer kN húzó-, illetve nyomóerőt kell levezetni (5. táblázat), mely teljesen egyedi alapozás tervezést igényel. A CFA cölöpök megbirkóznak ekkora teherrel, ám az acéloszlop lekötéséhez végül S460-as 50 mm vastag talplemez, M64-es horgonycsavarok, és kellő mennyiségű hajtúvas kellett. A talplemez méretezése amerikai ajánlások szerint képlékeny lemezelmélet szerint történt. A hajtúvasak száma és a nagy nyíróerő egy egyedi nyírési tuskót igényelt, melyen nyírési csapok segítik a nyíróerő közvetítését.

Szél (0,5 kPa - MO)	Földrengés (a=0,1 g - MO)	Robbanás (1410 kg TNT – 45 m)
140 kN	450 kN	5100 kN

5. táblázat Mértékadó húzó reakcióerők a különböző terhelésekből



14. ábra Több ezer kN húzóerő felvételére méretezett talpcsomópont [1]

## ÖSSZEGZÉS

Az épület ismertetése után rövid összefoglalást nyújtottunk a robbanásra történő szerkezettervezés sajátosságaihoz. Majd megmutattuk, hogy a hagyományosan tervezett acélszerkezetű irodaépület nem alkalmas ellenállni a közelében feltételezett autóbomba hatásainak. A védőtávolságok alkalmazása után beláttuk, hogy az emberáldozatok elkerülése érdekében még a robbanásálló nyílászárók alkalmazására is szükség van. Az emberélet védelmi vizsgálatok elvégzésének módját részletesebben taglaltuk. A homlokzati tehernek empirikus és áramlástanilag számolt eredményét megemlítettük ugyan, de nem részleteztük. Ezt követően a bemutatott energiaegyensúlyi egyenlettel három különböző kerettípust is megvizsgáltunk az épület globális viselkedésének vonatkozásában. Beláttuk, hogy a képlékeny alakváltozásoknak nagy a hatása, ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a szerkezet tönkremeneteli mechanizmusára és a csomópontok kialakítására is. Végezetül a speciálisan kialakított csomópontokkal kapcsolatban hívtuk fel a figyelmet a sajátos tervezési körülmények következményeire.

**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások. „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ROMÁN Zsolt: Épületen kívüli robbanások modellezése és vázas épületen való alkalmazása Diplomamunka 2010 Budapesti Műszaki Egyetem
- [2] U.S. Department of Defense: TM 5-1300 Structures to resist the effects of accidental explosions 1990
- [3] G. C. MAYS, P. D. SMITH: Blast effects on buildings 1995
- [4] U.S. Department of Defense: UFC 4-010-01 Minimum antiterrorism standards for buildings 2012



Dr. Szabó Gyula<sup>1</sup> – Dr. habil. Krajnc Zoltán<sup>2</sup>

## **“CIVIL - KATONAI PARTNERSÉG” - KÖZÖS KUTATÁSI PROGRAM A NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM ÉS AZ ÓBUDAI EGYETEM KÖZREMŰKÖDÉSÉVEL<sup>3</sup>**

*A szerzők összegzik a Társadalmi Megújulás Operatív Program (TÁMOP) 4.2.1.B-11/2/KMR/2011. keretében induló “Civil - Katonai Partnerség” alprogram kiemelt kutatási területeinek kutatási céljait, a kutatások várható eredményeit, valamint a tervezett együttműködőket. Az alprogram kiemelt kutatási területei: tűzoltás és az adott terület árvízrizikójának menedzsentje; munkahelyi ergonómiai kockázatok csökkentésének lehetőségei; humánvédelem - békeműveleti és vészhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése; vészhelyzeti viselkedés technikai megközelítése; viselkedés vészhelyzetekben; működésbiztonság szabályozása; energiabiztonság; az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására; építmények védelme, megerősítése robbantásos cselekmények ellen; közlekedési kritikus infrastruktúra védelem.*

### **„CIVIL - MILITARY PARTNERSHIP” - COMMON RESEARCH PROGRAM WITH COLLABORATION OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF PUBLIC SERVICE AND THE ÓBUDA UNIVERSITY**

*The authors give the general picture of the Social Renewal Operational Program (SROP) - 4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 titled with „The critical infrastructure protection”. The project integrate the following research areas: the management of the flood hazard and fire fighting; the opportunities of the reduction of workplace ergonomic risks; the development of peace operation and emergency treatment procedures; the technical approach of an emergency behaviour; behaviour in emergencies; the regulation of function safety; energy safety; the effect of the climate change onto the security and the application of the military; the protection and fortification of buildings against bomb actions; traffic critical infrastructure protection.*

## **BEVEZETÉS**

2011. őszén a Társadalmi Megújulás Operatív Program (továbbiakban TÁMOP) 4.2.1.B-11/2/KMR/2011. keretében, az akkor még létező, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem<sup>4</sup> és az Óbudai Egyetem által benyújtott „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” megnevezésű projekt támogatást nyert a pályázató szervezettől.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Dr. Szabó Gyula, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, dsgi@dsgi.hu

<sup>2</sup> Dr. habil. Krajnc Zoltán, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, krajnc.zoltan@uni-nke.hu

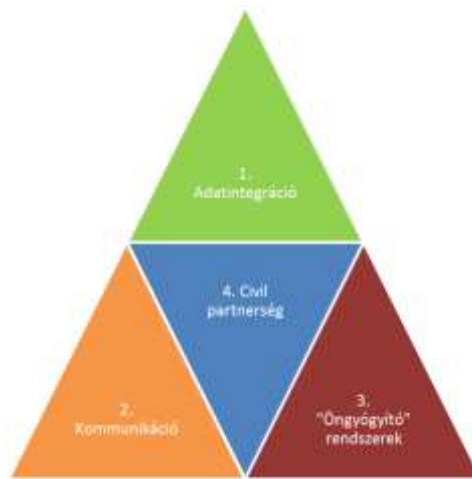
<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Berkovics Gábor, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, berkovics.gabor@uni-nke.hu

<sup>4</sup> A projektet, kedvezményezett szervezatként, a ZMNE jogutód Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kara viszi tovább

<sup>5</sup> A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg, az igényelt támogatás 948 819 563 Ft volt.

A pályázó konzorciumi tagok célkitűzése volt „*a kritikus infrastruktúra védelem területén nemzetközi színvonalon (és együttműködésben) végzett kutató-fejlesztő tevékenységhez szükséges kritikus tömegű humánkapacitás konszolidációja, szükség szerinti fejlesztése, valamint az e területeken végzett innováció támogatása.*”<sup>6</sup>

A pályázók megítélése szerint a projekt korellál az európai folyamatokkal, célokkal, amely szerint a másként megfogalmazott fő cél, olyan nemzetközileg is elérhető és számottevő tudás előállítása, összegyűjtése, adaptációja, és disszeminációja, beleértve olyan új technológiák és tudásbázis létrehozását, ami hozzájárul az állampolgárok biztonságának a szavatolásához. Ilyen fenyegetés lehet, például a terrorizmus, a természeti katasztrófák, a bűnözés, az emberi alapjogok – köztük a magánélethez fűződő jogok – fenyegetettsége.



1. ábra A projekt struktúrája (alprogramjai)  
(forrás: Megvalósíthatósági tanulmány, 34. oldal)

A projektben folytatott kutatások alapvetően négy fő területet céloznak meg:

- a nagy megbízhatóságú, hibátűrő, ún. „*öngyógyító*” infrastrukturális alrendszerek;
- az egyes alrendszerekből származó adatok integrált kezelése;
- az alrendszerekben történő elosztott számítások és az alrendszerek közötti biztonságos kommunikáció;
- illetve a „*biztonsági szint*” állami intézményrendszer, üzemeltetők és tulajdonosok, állampolgárok együttműködése révén történő fenntartható növelése.

A teljes kutatási projekt nagyságát, jelentőségét is érzékelteti, hogy a megvalósításában összesen 112 oktató-kutató, 30 szakértő, 28 leendő oktató-kutató, valamint 33 külföldi szakértő vesz részt a tervek szerint.

A projekt közvetlen, manifesztálódó eredményeiként (ún. pályázati indikátorokként) a konzorciumi tagok kutatóiból összeállt ún. „*kiemelt kutatási területek*”, és „*alprogramok*” 132

<sup>6</sup> Megvalósíthatósági Tanulmány, 30. oldal

hazai és nemzetközi cikk megírását, 11 könyv elkészítését, 4 szabadalom benyújtását, 140 konferencia előadás tartását, további 43 tanulmány és stratégia kidolgozását, valamint 70 egyéb tudományos témájú tudományos közlemény megjelentetését tervezik.



2. ábra A „civil – katonai partnerség” alprogram kiemelt kutatási területei

A projekt írásakor alapelvnek, kiinduló pontnak tekintették, hogy a kritikus infrastruktúra védelme nem egy „*elszigetelt feladatkör*”, nem egy független feladatrendszer. A kritikus infrastruktúra egy olyan összetett, komplex rendszerként értelmezhető, ami a modern társadalom minden meghatározó al- és részrendszerének (gazdaság, politikai rendszer, kulturális élet, közlekedési rendszer, közigazgatás, energiaellátás, stb.) folyamatos működése, kimeneti eredménye is az infrastruktúra-rendszerek megbízható üzemelése, működése által meghatározott. Ezért a pályázó konzorciumi tagok szerint a „*projekt az Új Széchenyi Terv céljaihoz kapcsolódóan hozzájárul hazánk versenyképességének megőrzéséhez (esetenként növeléséhez) az alábbi húzóágazatok vonatkozásában: közúti informatika, geoinformatika, logisztika, infokommunikációs technológiák.*”

## A „CIVIL - KATONAI PARTNERSÉG” KUTATÁSI ALPROGRAM ÖSSZEGRZÉSE

A „civil - katonai partnerség” kutatási alprogram az egyik legösszetettebb, viszonylag önálló entitása a teljes projektnek. Megtestesíti a két egyetem, gyakorlatilag a civil (polgári) és katonai (állami, erőszak szervezeti, közigazgatási) kutatási innovációt, kutatási együttműködést, amely jó esetben egy egymást erősítő koherens rendszert alkot.

Az alprogram 10 kiemelt kutatási területet (KKT) integrál, amelyből 6 a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, 4 pedig az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gé-





pész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, valamint a Neumann János Informatikai Kar munkatársaiból és partnereiből áll össze.

## **Az alprogram kiemelt kutatási témáinak leírása**

### *Tűzoltás és az adott terület árvízrizikójának menedzsmentje<sup>7</sup>*

A projekt háttérét és indokoltságát, többek között, az adja, hogy a szlovák-magyar határ mindkét oldalán jelentős azoknak a településeknek a száma, amelyekhez a területileg illetékes saját tűzoltó erők az Európai Unió normaidő (15 perc kiérkezés) jelentős túllépésével érnek csak ki. A gyorsabb eléréshez szükséges lenne a határ másik oldalán, de közelebb lévő tűzoltóságokat riasztani. Azonban a határ két oldalán lévő tűzoltóegységeknek nincs napi kapcsolata egymással, pedig első beavatkozóként és segítségnyújtásra is igénybe lehetne venni ezeket az egységeket nem csak tűzoltás, hanem a műszaki mentés és akár veszélyes anyagok közötti balesetei során is.

A tűz és egyéb balesetek mentési tevékenységein kívül az árvizek is jelentős problémákat okoznak. Heves esőzések következtében az elmúlt időszakban olyan folyókon (szinte patakokon) keletkeztek árvizek ahol eddig arra nem volt példa. Mivel rövid idő alatt óriási mennyiségű esővíz esik a sekélyebb medrű folyókra, azok nem tudják elvezetni a vizet és kiöntenek medrükből. Ezekre az árvizekre sajnos esélytelen felkészülnie nemcsak a lakosságnak, de a mentésben részt vevő szervezeteknek is. Ezért kerül egyre inkább előtérbe a krízismenedzsment, rizikómenedzsment, ahova az árvízvédelem is tartozik.

A projekt célcsoportjainak tekinthetjük a „*normaidőn kívüli*” települések lakosságát, ipari, mezőgazdasági területeit, a közlekedési balesetek, veszélyes anyag balesetek alanyait, valamint a Bódva folyó partján elterülő települések előljárói és az ezen területen keletkező árvizekben résztvevő mentési szervek, nekik jelenthetnek a projekt eredményei segítséget az árvízvédelemben.

A KKT fő célja a szlovák-magyar határ mentén lévő tűzoltóságok illetékességi területén az ellátatlan területek behatárolása, az adott településhez normaidőn belül kiérkezni képes tűzoltó erők hozzárendelése.

Szükséges mindkét oldalon a riasztási rendszer feltérképezése, kiegészítve veszélyes anyag balesetek felszámolásához szükséges döntéstámogató rendszer létrehozása mobil eszközök segítségével, mindkét nyelven.

A KKT várható eredményei lehetnek az elsődleges beavatkozó és segítségnyújtó egységek meghatározásával az ellátatlan területek megszüntetése, a segítségnyújtást, együttműködést támogató informatikai rendszer megtervezése és kialakítása, továbbá napi kapcsolat kialakítása és fenntartása és az együttműködés jogszabályi feltételeinek megteremtése, valamint a vonulási és beavatkozási idő csökkenésével a megmentett érték és a kárérték csökkenése.

---

<sup>7</sup> Komjáthy László: Tűzoltás és az adott terület árvízrizikójának menedzsmentje (kézirat) alapján. A KKT vezetője Dr. Komjáthy László egyetemi docens, NKE Katasztrófavédelmi Intézet.

A tervezett kutatási területen a projekt megvalósítása jelentősen növeli a határ mentén élők tűzvédelmi biztonságát, valamint elősegíti a hosszú távú együttműködést Magyarország és Szlovákia között. A Riasztási és Segítségnyújtási Tervekbe beépítve a határmenti tűzoltóságokat, rövidebb vonulási idővel csökkenthetőek a tűz által okozott költségek, nagyobb a megmentett értékek aránya. A kutatás hosszú távú eredményeként számos TDK-dolgozat, szakdolgozat, PhD-kutatási terület alapja lehet. A projekt lehetőséget teremt a két ország árvízvédelemben részt vevő szerveinek együttműködésére es ezzel egy hatásos árvízvédelmi program kidolgozására. Sem Magyarországon sem Szlovákiában nincs példa az UNESCO által meghatározott kritériumok felhasználására az árvízvédelemben, ezért ez mindenkeppen újítást (innovációt) jelentene a két ország árvízvédelemben. Szinten nincs példa a két ország árvízvédelmének es az azt végrehajtó szerveinek összekapcsolására, együttműködésére. A projektben használt metódusok és azok segítségével elért eredmények hosszú távon felhasználhatóak az egyetemi oktatásban, a katasztrófavédelem szakembereinek árvízvédelmi felkészítésében.

Projekt megvalósításába, a konzorciumi tagokon kívül a Zólyomi Műszaki Egyetem is képviselt.

### *Munkahelyi ergonómiai kockázatok csökkentésének lehetőségei<sup>8</sup>*

A legújabb európai kutatások is bizonyítják, hogy a váz-izomrendszeri - azaz hát, nyak és felső végtagi - megbetegedések továbbra is meghatározó egészségi és költség problémát jelentenek, és jelentőségük növekvőben van. Ezt jelzi az is, hogy a munkahelyi biztonsággal és egészségvédelemmel összefüggésben az európai vállalatoknál a váz- és izomrendszeri megbetegedések három legtöbb aggodalmat okozó tényező között szerepelnek. Az adatok szerint a magyar dolgozók 62,3% végez ismétlődő mozdulatokat, 36,3% visz vagy mozgat nehéz terheket, 53,2% dolgozik kellemetlen, fárasztó testtartásban és 70,5% számolt be arról, hogy munkáját állva végzi.

A fizikai terhelés hatására kialakuló váz- és izomrendszeri megbetegedések jelentőségüknél fogva a nemzetközi szakmai érdeklődés középpontjában van. Az Európai Unió célkitűzésnek megfelelően a tudományos kutatás prioritásainak fel kell ölelnie a pszicho-szociális problémákat, a váz-izomrendszeri megbetegedéseket, az egészségvédelmet és a biztonságot, a különböző tényezők együttes jelenlétéhez (pl. munkaszervezés és a munkahelyek tervezése, ergonómia, fizikai és kémiai expozíció) kockázatok és kapcsolódó lehetséges kockázatok. A WHO prioritásai közt szintén szerepel a munkából származó váz- és izomrendszeri megbetegedések visszaszorítása

A projekt eredményének nyertesei végső soron azok a munkavállalók lesznek, akiknek egészségét sikerül megőrizni a munkából származó váz- és izomrendszeri megbetegedések megelőzésével.

A projekt eredményeit a munkáltató szervezetek, ezen belül a munkavédelmi és munkaegészségügyi szakemberek, illetve a kapcsolódó feladatokat ellátó hatóságok fogják használni munkájuk végzése során.

---

<sup>8</sup> Szabó Gyula: Munkahelyi ergonómiai kockázatok csökkentésének lehetőségei (kézirat) alapján. A KKT vezetője Dr. Szabó Gyula ÓE Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet, intézeti mérnök.



A projekt további célcsoportja a munkavédelmi és munkaegészségügyi képzésekben részt vevő hallgatók. A pályázat keretében az anyagmozgatásból, illetve az ismétlődő mozdulatokból eredő fizikai terhelés kockázatainak minőségi és mennyiségi megítélésére használható eszközök és módszerek felkutatására, és adaptálására kerül sor.

Főbb lépések:

- a munkából származó váz- és izomrendszeri megbetegedések kockázatértékelésére alkalmazható módszerek összegyűjtése;
- javaslat kidolgozása a hazai gyakorlatban is alkalmazható számítógéppel támogatott vizsgálati módszerre;
- módszer alkalmazása különböző munkatevékenységekre és célcsoportoknál;
- eredmények összevetése más módszerekkel (pl. erőmérés, számítógépes szimuláció, fiziológiai mérések) kapott eredménnyel;
- a módszer alkalmazhatósági feltételeinek meghatározása;
- a módszer véglegesítése;
- a módszer terjesztése.

A projekt várható eredményei (termékek):

- a munkából származó váz- és izomrendszeri megbetegedések kockázatértékelésére alkalmazható módszerek – tanulmány;
- javaslat a magyar gyakorlatban alkalmazható váz- és izomrendszeri megbetegedések kockázatértékelésére alkalmazható módszerre – tanulmány;
- az Óbudai Egyetemen kifejlesztett váz- és izomrendszeri megbetegedések kockázatértékelési módszer és alkalmazási tapasztalatai – tanulmány.

A projekt hosszú távú, átfogó hatásainak bemutatása (hozzáadott értékek):

- a projekt eredményeként csökken a munkahelyi igénybevételből származó váz-izomrendszeri megbetegedések száma, súlyossága; csökken a betegség miatti hiányzások és egészségügyi ellátás költsége;
- az ismeretek megszerzésével és a projekt során közvetített értékek befogadásával a szakterületen dolgozók értékes eszközökhöz és kompetenciákhoz jutnak;
- megerősödik a váz- és izomrendszeri megbetegedések megelőzésével foglalkozó szakmai közösség, és képessé válik nemzetközi szintű kutatások végrehajtására.

A KKT-ben részt vesznek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Ergonómia és Pszichológia Tanszék, Ergonómiai laboratóriuma, az Országos Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Intézet, a Nemzeti Rehabilitációs és Szociális Hivatal, az Országos Egészségfejlesztési Intézet, valamint a Magyar Ergonómiai Társaság felkért szakemberei, továbbá a következő vállalkozások: Jabil Circuit Magyarország Kft., Linamar Hungary NyRt, TEVA Gyógyszer-gyár ZRt., DELPHI-Calsonic Hungary, Visteon Hungary kft.



---

## *Humánvédelem - békeművelti és vészhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése*<sup>9</sup>

Manapság a honvédelem, a biztonság legfontosabb kérdései komplex módon, a NATO-tagságunkból fakadó jogokban és kötelezettségekben, valamint az Európai Unió tagsághoz köthető ún. „európai védelmi identitásban” jelentkeznek. Ez konkrétan azt jelenti, hogy a haza védelme, az állampolgárok életének és javainak biztonsága csak nemzetközi kontextusban szavatolható.

Ez a „nemzetközi kontextus” a gyakorlatban úgy jelentkezik, hogy multinacionális („tisztán” NATO, EU, vagy NATO-PFP, ill. ENSZ-felügyelet alatti) szervezetekben, jellemzően dandár, ill. magasabb szintű (polgári védelmi területen regionális szintű) törzsekkel kell az irányítási, döntéselőkészítési feladatokat végrehajtani. A feladatok egy része, ipari és környezeti katasztrófák, migráció okozta és egyéb veszélyhelyzetek esetén nemzeti szinten jelentkeznek.

Összegezve: kettős követelménynek kell megfelelnie a szélesebb értelemben vett védelmi szférának, egyfelől a nemzetközi szintéren zajló (NATO-területen kívüli műveletek, ún. „out of area” műveletek) követelményeinek, valamint a hazai (ill. a kapcsolódó regionális) területeken potenciálisan kezelendő veszélyhelyzetek kezeléséből fakadó elvárásoknak.

Ez az összetett, nehezen modellezhető, követelmény-rendszer újszerű eljárásokat és azoknak megfelelő eszközrendszereket igényelnek, amelyek egy részének a kimunkálására és kifejlesztésére irányulnak a pályázott fejlesztéseink: „*Békeművelti és vészhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése*”.

Széleskörű kutatások folynak a védelmi szférán belül egyes „*képesség-csomagok*” kialakítására, vagy a meglévő művelti és veszélyhelyzet-kezelési képességek javítására, a nemzetközi környezetben való alkalmazási, integrálási feltételeinek megteremtésére. A kutatások céljait, a kutatások tárgyát elemezve megállapítható, hogy a pályázott résztémánk, a komplex közelítés és a többcélú alkalmazhatósága (védelmi-katonai, békeművelti, veszélyhelyzet-kezelési, sőt terror elhárítási, stb.) miatt egyfajta hiánypótlásként is tekinthető.

A projekt megvalósulásában közvetlenül érdekelt célcsoport a komplexen értelmezett teljes védelmi szféra, hiszen a katonai biztonságon kívül, az eredmények (eszközök) hasznosíthatóak a polgári- és rendvédelem teljes vertikumában.

Célcsoportnak tekinthetjük a Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar infrastruktúrájának, a tanulás, tanítás színvonalának növelésében érintett oktatókat, kutatókat és hallgatókat az oktatás minden szintjén (alap, mester és doktorképzés).

Kutatásaink fókuszában a katonai műveletek tervezésének, és végrehajtásának (irányításának) törvényszerűségei állnak. A potenciális katonai műveletek spektrumából különösen érdekelték vagyunk a válságreagáló műveletek kérdéskörében, valamint e műveletek tervezésének, és végrehajtásának a mechanizmusában.

Az elméleti kutatómunka eredményei, valamint a gyakorlatokon szerzett tapasztalatok azt mutat-

---

<sup>9</sup> Krajnc Zoltán: Humánvédelem - békeművelti és vészhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése (kézirat) alapján. A KKT vezetője: Dr. habil. Krajnc Zoltán NKE HHK, egyetemi docens.

ják, hogy hazánkban a multinacionális, összhaderőnemi környezetben végrehajtott műveletekre való felkészülés (felkészítés) nincs kellően megalapozva. Ezért indokoltnak érezzük, elméleti kutatómunkát követően, egy kísérletsorozat (szisztematikusan megtervezett és levezetett hadijáték sorozat) végrehajtását, amihez a pályázat támogatásával szeretnénk fejleszteni az infrastrukturális feltételeket (békeműveleti és veszélyhelyzet-kezelési műveleti központ eljárás-rendszerének fejlesztése, kialakítása, a működési változatok rendjeinek kidolgozása).

Békeműveleti és veszélyhelyzeti mobil, automatizált vezetési pont kialakításához az alábbi munkákat tervezzük végrehajtani:

- a műveleti központ termék előkészítése;
- az informatikai infrastruktúra beszerzése, az előzetes tanulmányok elkészítése, a hadijáték forgatókönyvek előkészítése;
- a műveleti központ szoftver létrehozása, installálása;
- a rendszer integrálása;
- a műveleti központ „beüzemelése”;
- hadijáték (szituációs) kísérletek levezetése;
- a tapasztalatok összegzése, a működési rendek véglegesítése;
- végső tanulmányok megírása, megjelentetése;
- javaslatok átadása az érintetteknek.

A résztema (projekt) négy konkrét célt kíván megvalósítani:

- békeműveleti és veszélyhelyzeti mobil vezetési pont eljárás-rendszerének kidolgozását, fejlesztését;
- a katonai (katasztrófavédelmi) veszélyhelyzet-kezelés módszertani tanulmányok, elemzések elkészítését;
- a résztanulmányok gyors bevezetését az oktatásba;
- a vezetési pont „pilot-jellegű” alkalmazását az egyetemi hallgatói záró-gyakorlatokon nemzetközi környezetben;

A projekt hosszú távú, átfogó hatásainak bemutatása (hozzáadott értékek):

- a tervezett résztema, a kiemelten támogatott műszaki tudományterületen, erősíti az NKE képzési és kutatási portfólióját, és növeli a Kar szellemi potenciálját, kutatási kapacitásait;
- a tervezett projekt eredményes megvalósítása a NATO és EU tagságunkból adódó kötelezettségeink teljesítésére való felkészítést is elősegíti;
- a projektbe bevont kutatók (szakemberek) kompetenciájának növelése a védelmi szféra egészében emeli a szakmai munka minőségét;
- a projekteket lebonyolító szervezetek hosszú távú célkitűzéseikhez, stratégiai céljaihoz hozzájárul;
- növelik a ZMNE és az ÓE kutatási kapacitásait, a humán erőforrások felkészültségét és a doktori képzés színvonalát.

## Vészhelyzeti viselkedés technikai megközelítése<sup>10</sup>

Az egyes, elsősorban tömegtartózkodásra szolgáló (legalább 300 fő egyidejű jelenlétével járó) helyiségek, épületek optimalizált kiürítésének (pl. tűzeset vagy egyéb havaria esemény miatt) számítógépes modellezése építészeti tervezés szintjén - létező szoftverek segítségével (mintegy 20-25 van jelenleg használatban) - elvégezhető feladat. A különböző modellek figyelembe veszik többek között az adott helyszínen a személyek számát, vállszélességét, haladási sebességét, az optikai sűrűséget (füst) és ezek alapján tervezik meg a menekülés lehetséges útvonalait, időtartamát. Bármennyire is használható azonban egy modell, többé-kevésbé csak közelíti az aktuális helyzetet.

Az elmúlt évek tragikus, tömegtartózkodásra szolgáló épületekben bekövetkezett balesetei rámutattak arra, hogy szükséges lenne egy real-time adatokon alapuló, az optimális kiürítést irányító elektronikai-informatikai rendszer létrehozása – a projekt ennek megvalósítását célozza.

A projekt célcsoportjai lehetnek a tömegtartózkodású helyeken levő személyek, akik valamilyen havaria esemény hatására a lehető legrövidebb időn belül ki kell, hogy meneküljenek.

Meg kell találni azokat az eszközöket, amikkel megállapítható az adott tömegtartózkodású helyen az adott tömeg eloszlása (figyelembe véve a személyiségi jogokat). A már meglévő alapokon olyan matematikai modelleket (szoftvereket) fejleszteni, amik real-time (havaria bekövetkezési pillanati) adatokból dolgoznak. Az előzőek alapján multifunkcionális, a tömegtartózkodású helyen az optimális kimenekülést segítő tájékoztató rendszer kifejlesztése.

A projekt hosszú távú, átfogó hatásaiként csökkenhetnek a tömeg nem optimális irányba történő távozásából származó veszteségek, sérülések.

## Viselkedés vészhelyzetekben<sup>11</sup>

Magyarország NATO és Európai Unió tagsága olyan, új szocializációs „kihívásokat” jelent, amelyek az az eddigiektől eltérő viselkedési stratégiát igényelnek a külföldi katonai, és más védelmi feladatokat ellátóktól. A kulturális sokk jelenség, az extrém stressz hatások, és egyéb, a feladatokból adódó fokozott pszichés terhelés pszichés kockázatként jelentkezik a szolgálatot vállalók számára.

Az eltérő kulturális környezet és extrém pszichés terhelés új típusú felkészítést, viselkedési stratégiát igényel a személyi állománytól. A kutatás lehetőséget biztosít az ország védelmét és biztonságát szolgáló állomány számára egységes, feladat orientált humán védelmi háló kialakítására.

A kiemelt kutatási terület megvalósulásában közvetlenül érdekelt célcsoport a komplexen értelmezett teljes védelmi szféra, a közszolgálat területén szolgálatot vállaló állomány, az eredmények (eszközök) hasznosíthatóak a polgári- és rendvédelem teljes vertikumában.

<sup>10</sup> Kovács Tibor: Vészhelyzeti viselkedés technikai megközelítése (kézirat) alapján. A KKT vezetője Dr. habil. Kovács Tibor ÓE Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépszerkezzetani és Biztonságtechnikai Intézet, egyetemi docens.

<sup>11</sup> Bolgár Judit: Viselkedés vészhelyzetekben (kézirat) alapján. A KKT vezetője Prof. dr. Bolgár Judit NKE HHK, egyetemi tanár.

Célcsoportnak tekinthetjük a Kar infrastruktúrájának, a tanulás, tanítás színvonalának növelésében érintett oktatókat, kutatókat és hallgatókat az oktatás minden szintjén (alap, mester és doktorképzés).

Kutatásaink fókuszában a szélesebb értelemben vett humán védelem tervezésének, és végrehajtásának (irányításának) törvényszerűségei állnak.

Kulturális sokk jelenség kutatásához:

- felkészítő tréningek forgatókönyvének elkészítése, ehhez szükséges előtanulmányok elvégzése;
- helyszíni megfigyelés, mélyinterjúk készítése a védelmi területet érintő beosztásokban szolgálatot teljesítőknél (monitorozás);
- pszichikai vizsgálati szoftver elkészítése a „*visszaszűrés*” egységesítésére;
- visszatérés után pszichikai vizsgálat elkészített egységes vizsgálati eljárás alapján;
- záró tanulmány elkészítése (két kötetben), megjelentetése, amely tartalmazza a kutatás eredményeit és a javaslatokat.

Extrém stressz hatások kutatásához:

- szituációs feladatok forgatókönyvének összeállítása „*indoor*” és „*outdoor*” környezetben
- műszeres megfigyelések végzése szituációs környezetben (ún. taktikai pályákon);
- hatásvizsgálat elvégzése tesztek segítségével, ezek elemzése;
- stresszkezelési „*kézikönyv*” összeállítása az érintettek számára;
- záró tanulmány készítése (egy kötet).

A résztema (projekt) két konkrét célt kíván megvalósítani:

- a kulturális sokk nemzetvédelmi-, rendvédelmi-, és egyéb közszolgálati területeken jelentkező hatásainak feltárása, a kezelésére stratégiák és módszerek feltárása, kidolgozása;
- az extrém stressz hatások nemzetvédelmi-, rendvédelmi-, és egyéb közszolgálati területeken jelentkező hatásainak feltárása, a kezelésére stratégiák és módszerek feltárása, kidolgozása.

A kutatás lehetőséget biztosít az ország védelmét és biztonságát szolgáló állomány számára egységes, feladat orientált humán védelmi háló kialakítására, részletezve:

- a tervezett kutatási eredmények erősítik a közsféra területét érintő humán kutatásokat, különösen azon munkakörök tervezését és az erre történő felkészítést, amelyek esetében a kutatott pszichés hatások erőteljesen jelentkeznek;
- a kutatási eredmények jó alapot szolgáltatnak az új kihívásokkal is kompatibilis munkaköri leírások, és felvételi (pszichikai alkalmassági) rendszer korrekciójához;
- a kutatási eredmények figyelembe veendőek az ún. „*szituációs gyakorlatok*” és felkészítő tanfolyamok tartalmi összeállításához;
- növelik az NKE és az ÓE kutatási kapacitásait, a humánerőforrások felkészültségét és a doktori képzés színvonalát.

A KKT a környezetvédelem területén a hibafelismerés és hibaelhárítás a rendszer- és irányításelmélet eredményeinek segítségével, gazdasági alkalmazások öntészet, folyamatos öntés, és a műanyag sajtolás kérdéseit vizsgálja.

A jelzett folyamatok és eljárások a nemlineáris parciális differenciális egyenletekkel leírt jelenségekre támaszkodnak. Ezeket manapság numerikus módszerekkel oldjuk meg. Számos virtuális szoftver környezet áll rendelkezésre ezeknek a folyamatoknak a modellezésére és dinamikus analizésére a meghibásodások diagnosztikája területén. A virtuális szoftverkörnyezetek numerikus modelljei, amelyek a rendszer és irányításelmélet keretei között megosztott paraméteres rendszereket jelentenek alkalmasak irányítási feladatok megfogalmazására és megoldására a hibaelhárítás céljaira. Az öntészet és a folyamatos öntés területén kiterjedt tapasztalataink vannak a ProCAST szoftvertermékkel (ESI-Group termékcsalád). A hibaelhárítás kapcsán az irányítási feladatok terén pedig a Distributed Parameter Systems Blockset for MATLAB & Simulink szoftver termékkel.

Talajvizek tisztítása területén dolgoztunk a MODFLOW virtuális szoftverkörnyezettel, amely az USA Geográfiai Intézetének szoftverterméke és szabadon elérhető a világhálón. A hibaelhárítás kapcsán, illetve az irányítási feladatok terén pedig a Distributed Parameter Systems Blockset for MATLAB & Simulink (DPS Blockset) szoftvertermékkel vannak tapasztalataink. Ezt a szoftverterméket a DPS Blockset-et a piacvezető amerikai The MathWorks CONNECTIONS programjában állítottuk össze, amelyet a The MathWorks saját partnertermékeként jelenít meg.

Minden olyan terület, ahol numerikus modellezést és szimulációt lehet végezni bonyolult 3D-s értelmezési tartományokon, ott a numerikus modellekre épülő optimalizálási, valamint irányítási eljárás alkalmazható. Az ilyen feladatokra felépíthető az a megosztott paraméteres elméleti keret, ami az irányításelméletben e témakörbe esik. Az optimalizálási illetve irányítási feladatok megoldását szoftver támogatással együtt el lehet végezni a Distributed Parameter Systems Blockset for MATLAB & Simulink (DPS Blockset) virtuális szoftverkörnyezetben.

Fontos e projekt több a jelen pályázatban kidolgozott projekttel való kapcsolata. A *“Tűzoltás”* témájában szintén használhatók numerikus szimulációk, például erdőtüzeknél (ez is egy parciális differenciális egyenletekkel leírt dinamikus, megosztott paraméteres rendszer) és így kiváló lehetőség nyílik a tűzoltás optimális irányítására a fent említett szoftver segítségével. Az *„Árvízrizikó...”* témájában talajvizek szennyeződése esetén a kiömlött nagy mennyiségű szennyező anyag (pl. olaj) a felszín alatt több méter mélységben hidraulikus kúpokba gyűjtésével a szennyeződés mozgása numerikusan modellezhető a MODFLOW szoftverkörnyezetben.

A projekt tartalma, a tervezett K+F+I tevékenység rövid leírása

---

<sup>12</sup> Réger Mihály: Működésbiztonság szabályozása (kézirat) alapján. A KKT vezetője Prof. dr. Réger Mihály ÓE Bánki Donát Gépész és Biztonságttechnikai Mérnöki Kar Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, egyetemi tanár.



Hiba diagnosztika és hibaelhárítás megosztott paraméteres matematikai modellek segítségével:

- parciális differenciális egyenletek, megosztott paraméteres rendszerek a mérnöki gyakorlatban;
- numerikus módszerek a nemlineáris parciális differenciális egyenletek megoldására; véges elem módszer, véges térfogat módszer, véges differencia módszer;
- virtuális szoftverek (virtual software environments) a mérnöki gyakorlatban ANSYS Polyflow, FLUENT, ProCAST, COMSOL Multiphysics, MODFLOW, MODPATH;
- optimalási és irányítási feladatok megfogalmazása a hibák elhárítása céljából parciális differenciális egyenletekkel, megosztott paraméteres rendszerekkel leírt dinamikus rendszerek esetében.

A projekt várható eredményei (termékek) lesznek esettanulmányok, biztonságtechnikai feladatok, a hibaelhárítás és a meghibásodások diagnosztikája megosztott paraméteres matematikai modellek segítségével.

### *Energiabiztonság*<sup>13</sup>

A közelmúltban az energiaellátás és - felhasználás problémája a biztonság kérdéskörének, így a nemzetközi biztonsági tanulmányok tárgykörének is egyik kulcskérdésévé vált, a biztonság fogalma kibővül az „*energiabiztonsággal*” és az ezzel szorosan összefüggő klímabiztonsággal. Míg az utóbbi a világ egészét érinti, az előbbi különösen azon térségeket és országokat – így Európát, s benne hazánkat is –, melyek nagy energia-felhasználók, miközben szénhidrogén kincsekben szegények. A fejlett társadalmak mindennapjai által generált energiaéhség további növekedése várható. Ennek fedezetére irányuló, eredményes kutatások aktualitása nem kérdéses.

A jelenleg alkalmazott, főként fosszilis energiahordozók gazdaságosan kitermelhető készlete drasztikusan fogy. Hazánk éves energiafogyasztásának mindössze egyharmadát képes a honi energia kielégíteni. Kiszolgáltatottságunk ezáltal- a jelentős mennyiségű import földgáznak köszönhetően- az Európai Unió tagállamok között is jelentős mértékű. Az energiatülszórás csökkentése az EU és hazánk biztonsága szempontjából is égető probléma. Megoldást csak az újabb és újabb Európa területén fellelhető energiaforrások utáni kutatás, majd azok alkalmazása hozhat. Magyarország tekintetében a megújuló energiát javarészt a helyben található szerves alapanyagok biztosíthatnák, a mezőgazdaságból és állattenyésztésből visszamaradó „hulladék” ésszerű felhasználása lehet energiabiztonságunk záloga. Energiává történő átalakításuk decentralizált, kistérségi szinten biztosíthatná az egyes területek részleges vagy akár teljes energiaigényét.

A projekt célcsoportjai:

- a projekt eredményeinek elsődleges nyertesei a mezőgazdasági és/vagy állattartói, húsfeldolgozó ipari létesítmények, illetve ezek környezetében elhelyezkedő üzemek és lakóépületek;
- a hosszú távra tervezett fejlesztéseknek köszönhetően a projekt további célcsoportja, a de-

<sup>13</sup> Horváth Miklós: Energiabiztonság (kézirat) alapján. A KKT vezetője Dr. Horváth Miklós ÓE Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet, egyetemi adjunktus.

- centralizáltan, kistérségi szinten az energiaellátásra megoldást kereső közösségek;
- további célcsoport a fenntarthatóságot szem előtt tartva új hallgatói, kutatói kör bevonása az energiabiztonság kutatási területére.

Magyarország adottságaihoz igazodva az energiabiztonság növelésének szem előtt tartása mellett, az energia nyersanyagkutatás a megújuló energia és azon belül a biomassa felé irányul. A lehetséges alapanyagok és technológiai megoldások széles körű vizsgálata, majd energetikai hasznosíthatóságának elemzése mellett a projekt fő célja új, hatékony, gazdaságosan megvalósítható technológiák „félüzemi szintű” fejlesztése.

A szerves anyag (biomassa) eltüzelésével, de főként biogáz előállítása céljából az alapanyag gázosításával nyerhető energiakincs felbecsülhetetlen és nagyrészt egyelőre kiaknázatlan. A projekt keretében új fermentálási (előkezelési) lehetőség megvalósítására kerül sor, a hatásfokot nagymértékben befolyásoló (elő)aprítási műveletek optimalizálása mellett.

Kutatásunkat meglévő ipari igényekre alapozottan szeretnénk elvégezni. Célunk, olyan technológiákra alapozott eljárást kidolgozni, melyeknek alkalmazása során a konvencionális diszperzió finomítási technológia műveleti eszközeihez képest - azonos energetikai alapon – nagyobb feldolgozási hatékonyság és/vagy magasabb termékminőség érhető el azonos, vagy alacsonyabb mértékű enzim, baktérium, vegyszerfelhasználás mellett.

A projekt várható eredményei (termékek):

Az átfogó kutatás és az azt alátámasztó laboratóriumi vizsgálatok után következtetéseket vonhatunk le a hazai biomassa (főként mezőgazdasági és állattenyésztésből visszamaradó hulladék), mint energia nyersanyag potenciális szerepéről.

Rámutatthat energetikai eljárások optimalizálására, maga után vonva és fejlesztve ez által a gépészeti berendezések egyes egységeit is. Megoldást, kiutat mutatva energia kiszolgáltatottságunkból, törekedve ez által a hazai nyersanyag energia felhasználás okozta biztonság felé.

A projekt során kutatott új illetve továbbfejlesztett aprítási és fermentálási lehetőségek nagyban hozzájárulhatnak a jelenleg működő biogáz üzemek és telepek hatékonyságának növeléséhez. Célunk, a kutatásaink során elért fejlesztésekkel egy hazai, kistérségi szinten megvalósítható biogázüzem tervének elkészítése, e projekt idején túlmutatva pedig ennek megvalósítása.

A projekt eredményeként fény derül a már alkalmazott eljárások technológiai hiányosságaira, gyenge pontjaira, a megvalósuló cikkek, tanulmányok javaslatot tesznek a szükséges változtatásokra mind elméleti mind gépészeti szempontból. Az eredmények ismeretében új irányok kijelölése történik meg az energiabiztonság, mint hazai és nemzetközi biztonság problémájának enyhítésére. Az eredményekből kistérségi szinten, várhatóan, további megvalósuló projektek (beruházások) születnek.

## Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására<sup>14</sup>

Az éghajlatváltozást számosan és számos alkalommal vizsgálták az elmúlt évtizedben. Ugyanakkor a biztonságra gyakorolt hatásával – ezen belül is a katonai biztonsággal – nem, vagy csak érintőlegesen foglalkoztak korábban a szakértők. Áttörést hozott ebből a szempontból az Egyesült Államok tekintélyes katonai szakértői által publikált anyag, amelyben rögzítik, hogy a globális éghajlatváltozás komoly veszélyt jelent az Egyesült Államok biztonságára nézve. Az általuk írt tanulmány „*A nemzeti biztonság és az éghajlatváltozás fenyegetése*” címet viseli, és azokkal a kockázatokkal foglalkozik, amelyek a klímaváltozás hatása nyomán az Egyesült Államok biztonsági érdekeit érintik (National Security and the Threat of Climate Change. <http://securityandclimate.cna.org/> 2008. 8. 16.). Ezt követően gyorsultak fel az ilyen irányú kutatások más országokban is, és vezettek el oda, hogy a biztonsági és katonai stratégiák is említik ezt a területet.

Kutatásunk fő céljai a következők:

- áttekinteni és rendszerezni a nemzetközi szakirodalomban elérhető kutatások eredményeit, amelyek az éghajlatváltozás biztonságra gyakorolt hatásaival foglalkoznak;
- kutatni, elemezni és értékelni a katonai erő felkészítését, alkalmazását érintő hatásokat, amelyek az éghajlatváltozás miatt fokozott veszélyeztetést jelentenek. Különösen fontos területe ennek a Magyar Honvédség missziós alkalmazása során felgyülemlett tapasztalatok (Afganisztán, Irak, Ciprus, Balkán-félsziget, Afrika) értékelése, mind a katonák, mind a haditechnikai eszközök vonatkozásában;
- kutatni, elemezni és értékelni a katonai erő alkalmazását, mint olyat, amely maga is hozzájárul az éghajlatváltozás hatásaihoz.

A kutatás eredményei ennek megfelelően többrétűek. Egyrészt létrejön egy olyan adatbázis, amelyben megtalálhatóak a terület legfrissebb hazai és nemzetközi kutatási eredményei, másrészt a tapasztalatok feldolgozásával javaslatokat fogalmazunk meg a felkészítés és alkalmazás súlypontjainak átgondolására, harmadrészt javaslatokat teszünk az asztalra a Magyar Honvédség működésében meglévő tartalékok hatékonyabb kihasználására az energiafelhasználás és környezetvédelem területén.

A kutatás eredményeinek felhasználása igen széleskörű. Katonáink missziós felkészítésében, a hivatásos és szerződéses állomány képzésében egyaránt felhasználható eredmények végső soron a biztonságot növelik. A technikai eszközök hatékonyabb használata, megbízhatóságának és élettartamának növelése, az egyéni felszerelés korszerűsítése ugyancsak ebbe az irányba hat. A katonai erő alkalmazása során keletkező káros anyagok kibocsátásának csökkentése, az energiafelhasználás racionalizálása pedig országos érdek. Mindezeket túl az eredmények jól hasznosíthatóak a kritikus infrastruktúra védelme rendszabályainak meghatározásában, és teljes összhangban vannak a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában megfogalmazott integrációs elvnek.

A kutatási projekt, a terveink szerint, az alábbi eredményeket hozza:

<sup>14</sup> Padányi József: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására (kézirat) alapján. A KKT vezetője Prof. dr. Padányi József NKE HHK egyetemi tanár.

- hazai és nemzetközi on-line adattár az eddigi kutatási eredményekről;
- tanulmánykötet a katonai erő alkalmazásának hazai és nemzetközi tapasztalatairól, az éghajlatváltozás okozta veszélyeztetésről;
- egyetemi tankönyv elkészítése „*az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására*” címmel;
- javaslatok megfogalmazása a döntéshozók számára a felkészítés, egészségügyi támogatás, felszerelés korszerűsítése, a technikai eszközök alkalmazása és a kibocsátás csökkentés területén.

Hosszútávon a projekt megalapozza a kutatásban részvevő intézmények oktatási területének fejlesztését és kínálatának bővülését. Mélyíti és ápolja az együttműködő intézmények kapcsolatait, valamint fejleszti a partnerek közös fellépéséből fakadó kompetenciáit. Intézményi szinten a kutatásban részvevő kollégák szaktudása és tapasztalata jelentősen fejlődik, ami közvetlen kihatással van az oktatás minőségére. Az eredmények megalapozzák az oktatás és képzés minden szintjén és formájában a területen keletkezett ismeretek átadását. A kutatási tapasztalatok eredményeképpen hatékonyabbá tehető katonáink gyakorlati felkészítése, egészségügyi támogatása, az eszközök alkalmazása, valamint a kibocsátás csökkentése.

Projekt megvalósításába a NATO Joint Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defence Centre of Excellence (Vyskov, Csehország) kívánjuk bevonni.

### ***Építmények védelme, megerősítése robbantásos cselekmények ellen<sup>15</sup>***

Az elmúlt időszak sajnálatos robbantásos eseményeinek tükrében a téma aktualitása nehezen megkérdőjelezhető. A Magyar Honvédség szerepvállalása a nemzetközi békefenntartó feladatokban (pl. az afganisztáni vagy az iraki missziókban) sürgető szükségszerűséggé teszik a robbantásos cselekmények vizsgálatát, az ellenük való védekezés adminisztratív, technikai/műszaki és szervezeti lehetőségeinek kutatását. A napi hírek bizonyítják, hogy a polgári lakosság elleni robbantásos cselekmények is, határoktól függetlenül pusztíthatnak. Amíg a katonák esetében a hadszíntér egészén kellene védekezni, addig a békés mindennapokban, a kritikus infrastruktúra elemein belül kell megtalálnunk azokat a létesítményeket (pl. kormányzati épületek), melyeknél előre fel kell készülni a robbantások hatásának csökkentésére, elhárítására.

A kutatás eredményeként, egyrészt a magyarországi környezetben található épületek terrorista merényletekkel szembeni védelmének besorolási, osztályozási módszereit, eljárásait kívánjuk kidolgozni. Az osztályozás szempontjai alapvetően a szerkezet károsodásának mértéke és a bent lévő emberek életének a védelme szerint értendők. Vizsgáljuk, hogy az adott környezeti feltételek mellett egy kiemelt fontosságú objektum hogyan tehető biztonságosabbá? Kutatjuk az aktív és passzív védekezés lehetőségeit. A lakóépületeken, hivatali épületeken túl, a kutatás vizsgálja a missziós feladatok létesítményeinek, táborainak védelmi lehetőségeit.

A projekt célcsoportjai lehetnek:

---

<sup>15</sup> Lukács László: *Építmények védelme, megerősítése robbantásos cselekmények ellen* (kézirat) alapján. A KKT vezetője Prof. dr. Lukács László NKE HHK, egyetemi tanár.

- az NKE-n folyó Had- és Biztonságtechnikai Mérnöki alapszak, a Védelmi Igazgatási alap és mesterszak, a Biztonságtechnikai mérnöki mesterszak és a Katasztrófavédelmi mérnöki mesterszak, az Óbudai Egyetem Biztonságtechnikai mérnöki alap és mesterszak hallgatóinak képzése;
- a Katonai Műszaki Doktori Iskola, Katonai műszaki infrastruktúra tudományozáson folyó képzés;
- a Magyar Honvédség missziós feladatai során, a katonai táborok berendezését végző szakállomány. HM Fegyverzeti és Hadbiztosági Hivatal, Infrastrukturális Igazgatóság, HM Védelmi Hivatal, MH Műveleti és Doktrinális Központ, MH Összhaderőnemi Parancsnokság (Tudományos kutatóhely);
- az ORFK Készenléti Rendőrség Tűzszerész Szolgálat, a Katasztrófavédelem, továbbá egyéb biztonsági szolgálatok, a kiemelt fontosságú (védett) létesítményeknél.

A projekt tartalma, a tervezett K+F+I tevékenység rövid leírása:

- a robbantásos merényletek jellemzőinek meghatározása;
- robbantásos merényletek – esettanulmányok;
- kritikus infrastruktúra körébe tartozó létesítmények veszélyeztetettségének meghatározása kockázatelemzéssel;
- a robbanási hatások elleni védelmet szabályozó hazai és nemzetközi előírások tanulmányozása, kutatása, összehasonlítása;
- a robbanási lökéshullám építményekre gyakorolt hatásának modellezése, számítógépes program alkalmazásával;
- kísérleti robbantások végrehajtása egyes szerkezeti elemek robbanásálló képességének vizsgálatára;
- az adatok tükrében ajánlások az egyes építmények kialakítására, megerősítésére, védelmi képességének fokozására;
- a program alkalmazhatóságának vizsgálata missziós katonai műveletek Force protection feladatai során;
- a program alkalmazhatóságának vizsgálata a katasztrófavédelmi feladatok során.

Célzott kutatások végzése során szakmai konzultációkat tervezünk az alábbi partnerekkel:

- University of Defence, Faculty of Military Technology / Department of Engineer Technologies (Czech Republic, Brno);
- University of Defence, Faculty of Economics and Management / Department of Combat Support Management (Czech Republic, Brno);
- Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfiztal, Germany (Dr. Thomas Keicher);
- NATO Counter IED Centre (Spanyolország);
- Engineer Center of Excellence (Németország, Ingolstadt);
- EOD Center of Excellence (Szlovákia, Trencsény).



A kutatási eredményként megjelenő „termékek”: táblázatok, grafikonok, nomogrammok, képletek, szoftverek, illetve szoftver környezetek alkalmazási, kezelési utasításai, általános (tapasztalati) szabályok megfogalmazása.

A jelölt kutatási eredmények alapján, a katonai, a rendvédelmi és a katasztrófavédelmi szervezetek képesek lehetnek egy adott terrorista merénylet gyanúja esetén, a robban(t)ás által érintett terület kiterjedésének a meghatározására. Képesek lehetnek a szükséges evakuálási terület nagyságát meghatározni adott mennyiségű, típusú világháborús robbanótestek helyszíni megsemmisítésekor. A fentiek fényében továbbá lehetőség nyílik a veszélyeztetett épületek kívánt mértékű megerősítésének meghatározására.

A kutatás konkrét eredményei:

- publikációk a kutatási terv egyes részeredményeiről hazai és külföldi szakmai folyóiratokban;
- pazai és külföldi konferencia előadások (plusz cikkek a konferencia kiadványokban);
- PhD disszertáció és disszertáció tervezet az adott témában a Katonai Műszaki Doktori iskolán;
- számítógépes program a robbanási hatások építményekre gyakorolt hatásának modellezésére;
- szakmai útmutató a Magyar Honvédség, a rendőrség és a katasztrófavédelem szakmai szervezetei részére, az építmények robbanási hatások elleni védelmének megtervezésére;
- nemzetközi kapcsolatok kiépítése a témával foglalkozó University of Defence (Czech Republic, Brno) két szakirányú tanszékének, a Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfiztal, Germany (Dr. Thomas Keicher), a Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Boğaziçi University, Istanbul, Turkey (Prof. Dr. Gulay Altay) és a NATO Counter IED Centre (Spanyolország), Engineer Center of Excellence (Németország, Ingolstadt), EOD Center of Excellence (Szlovákia, Trencsény) szakembereivel.

A projekt folyamán kiépített hazai és nemzetközi szakmai kapcsolatok révén, a témával kapcsolatos újabb eredmények megismerése, a program továbbfejlesztésének lehetőségét is magában hordja.

### ***Közlekedési kritikus infrastruktúra védelem<sup>16</sup>***

Az 1990-es években az Egyesült Államok külföldi érdekeltségeit és területét ért terrortámadások következményei rámutattak az infrastruktúra elemek sérülékenységre. A 2001. szeptember 11-ei, Amerikai Egyesült Államok elleni terrortámadás-sorozat már nem hagyott kétséget a felől, hogy a terrorizmus globális fenyegetettségé vált. Napjainkban a terrorcsoport „kedvelt célpontjának” számítanak a közlekedési rendszer elemei. Ennek ellenére hibát követ el az, aki a közlekedési kritikus infrastruktúrákat veszélyeztető tényezők közül csak a terrorfenyegettséget veszi figyelembe.

A kritikus infrastruktúra védelem nemzetközi gyakorlata a terrorizmust elsősorban azért emeli ki, mert a terrortámadások után szükséges az állam és az önkormányzatok legtöbb szervezetének

---

<sup>16</sup> Horváth Attila: Közlekedési kritikus infrastruktúra védelem (kézirat) alapján. A KKT vezetője Dr. habil. Horváth Attila NKE HHK, egyetemi docens.

reagálása a következmények felszámolása érdekében. Az elmúlt évek tapasztalatai egyben azt is bizonyítják, hogy a közlekedésben a sérülékenység egyéb elemei – a természeti- és civilizációs katasztrófák, üzemzavarok, balesetek és szabotázsakciók – a terrorizmusnál sokkal nagyobb veszteségeket okozhatnak emberélet, sérültek és anyagi károk tekintetében egyaránt.

Napjainkban a biztonságot sokkal szélesebben kell értelmezni, mint évtizedekkel korábban. Egyre több terület válik kiemelt fontosságú társadalmi kérdéssé, illetve államvezetési problémává. A biztonság jelentősen befolyásolja az ország társadalmi és gazdasági helyzetét, stabilitását. Mindezek miatt a közlekedésbiztonságot ma már tágabb értelemben szükséges értelmezni, erre lehet alkalmas a közlekedési kritikus infrastruktúra védelem problémakörének elemzése.

Önállóan, kiemelt területként, a közlekedés kritikus infrastruktúra védelmét sem megoldani, sem kutatni nem lehet. A közlekedési hálózatok, a járművek, a helyváltoztatásban érintett személyek és dolgok kölcsönös függőségben állnak más szektorokkal is, pl. energetika, infokommunikációs rendszerek, stb. A kutatások céljait, a kutatások tárgyát elemezve megállapítható, hogy a pályázott résztémánk, a komplex közelítés és a többcélú alkalmazhatósága miatt egyfajta hiánypótlásnak is tekinthető.

Ma az Európai Unióban közösségi szinten és a tagállamok szintjén, így Magyarországon is kiemelkedő jelentőséggel bír a kritikus infrastruktúra védelem lehetőségeinek kutatása, illetve az eddig működő rendszerek felülvizsgálata. A kritikus infrastruktúra védelem jellegénél fogva nem jelenthet kizárólag állami feladatot. A fokozott biztonság megteremtése szükségessé teszi az állami szereplők mellett az üzemeltetők, a tulajdonosok bevonását is. A hatékony kritikus infrastruktúra védelem kialakítása megköveteli azt is, hogy lakosságnak legyen arról információja, hogy mit kell tenni veszélyhelyzetek kialakulásánál. A projekt megvalósulásában közvetlenül érdekelt célcsoport a komplexen értelmezett teljes védelmi, illetve közlekedési szféra. Tágabb értelmezés szerint a célcsoport ossztársadalmi szinten is értelmezhető.

Célcsoportnak tekinthetjük a Kar infrastruktúrájának, a tanulás, tanítás színvonalának növelésében érintett oktatókat, kutatókat és hallgatókat az oktatás minden szintjén (alap, mester és doktorképzés).

A projekt tartalma, a tervezett K+F+I tevékenység rövid leírása

A módszertan, az alkalmazott eljárások komplex értelmezése szükségszerű. Elemezni kell a közlekedési rendszer sérülékenységét, a már említett veszélyeztetettségi kategóriákon belül és az érintett határterületeken is. Csak a komplex vizsgálati módszerek alkalmazásával lehet meghatározni a közlekedési rendszer infrastrukturális elemeinek sérülékenységét. Nem elégséges, hogy a kutatásaink fókuszában csak a közlekedési kritikus infrastruktúrák sérülékenységi elemei álljanak. A vizsgálatokat kiterjesztjük a rendkívüli helyzetekre adott válaszokra, reagálásokra és a következmények felszámolásának módszereire is.

A közlekedési kritikus infrastruktúra védelem lehetőségein belül az alábbi területeket kutatjuk:

- a kritikus infrastruktúra védelem fogalmi meghatározásai, a nemzetközi tapasztalatok magyarországi adoptálásának lehetőségei;

- a kritikus infrastruktúra védelem területeinek, ágazatainak, jogi- és intézményrendszerének elemzése nemzetközi példák alapján;
- a közlekedési rendszer helye és szerepe a kritikus infrastruktúra védelemben;
- a közlekedés alágazatok (közúti-, vasúti-, vízi- és légitözlekedés, csővezetékes szállítás), valamint a városi közösségi közlekedés kritikus infrastruktúra védelmi feladatainak, módszereinek meghatározása;
- a közlekedési alágazatok kritikus infrastruktúráit (pályáit, műtárgyait, termináljait, járműveit, berendezéseit, irányítási rendszereit) veszélyeztető tényezők elemzése az Európai Unió és Magyarország vonatkozásában. Figyelembe vehető kockázatok, aktorok: terrorizmus, civilizációs és természeti katasztrófák, szabotázsakciók, üzemzavarok, balesetek, globális felmelegedés okozta környezeti problémák;
- a közlekedési rendszer alágazatai kölcsönhatásainak vizsgálata a kritikus infrastruktúra védelmének szempontjából;
- a közlekedés rendszer függősége az energetikai rendszer, infokommunikációs technológiák, az élelmezés és ivóvíz ellátás, a pénzügyi rendszer és a közigazgatási rendszer kritikus infrastruktúra védelmétől;
- a biztonsági és védelmi szektor függősége a közlekedési rendszer kritikus infrastruktúra védelmétől.

A résztéma (projekt) négy konkrét célt kíván megvalósítani:

- a közlekedési kritikus infrastruktúra sérülékenységének komplex vizsgálata a közlekedési rendszeren belül, de az érintett határterületek bevonásával;
- a közlekedés kritikus infrastruktúrák azonosítása, a megóvás modelljeinek és módszereinek a kidolgozása;
- a közlekedési kritikus infrastruktúrák sérülékenységének, és kiesésük esetén a lehetséges következmények elemzése szimulációs gyakorlatokkal;
- a vizsgálati eredményeknek megfelelően javaslatok kidolgozása a jogszabályi módosítására és intézményi háttér átalakítására, valamint új védelmi és reagálási módszer alkalmazására.

A projekt hossz útavú, átfogó hatásainak bemutatása (hozzáadott értékek)

- a tervezett résztéma, a kiemelten támogatott műszaki tudományterületen, erősíti az NKE HHK képzési és kutatási portfólióját, és növeli a Kar szellemi potenciálját, kutatási kapacitáit;
- A tervezett projekt eredményes megvalósítása a NATO és EU tagságunkból adódó kötelezettségeink teljesítésére való felkészítést is elősegíti;
- a tervezett kutatások elősegítik a közlekedési kritikus infrastruktúra biztonságos működési feltételeit;
- a projektbe bevont kutatók (szakemberek) kompetenciájának növelése a védelmi szféra egészében emeli a szakmai munka minőségét;
- a projekteket lebonyolító szervezetek hosszú távú célkitűzéseikhez, stratégiai céljaihoz hozzájárul.





---

## BEFEJEZÉS, ÖSSZEGRZÉS

A cikkel és a konferencia előadással egyfajta összegzést szerettnk volna adni a teljes projekt talán legnagyobb (több mint 300 M Ft) és legszerteágazóbb alprogramjáról, felhasználva a pályázat benyújtásakor készített kutatási terveket és elgondolásokat.

A pillanatnyi helyzet szerint az alprogram kutatásai megkezdődtek, azonban felemásra sikeredett az indulás. Az Óbudai Egyetemhez tartozó KKT-kban rendezettebb viszonyok között indulhattak meg a kutatások, a tevékenységek alapvetően a kezdeti szervezési-, kutatási infrastruktúra-megteremtési- és előkutatási (irodalom feldolgozási, anyaggyűjtési) munkálatokra korlátozódtak.

Az NKE 6 KKT-jéhez tartozó kutatók és egyéb részt vevők számára, az egyetem átalakulásának nehézségei miatt, nehezebben kezdődhetnek meg a kutatások.

A projekt jelen szakaszában számszerűsíthető (indikátorokban kifejezett) eredményekről még alig beszélhetünk, azonban ez a konferencia lehet az alprogram katalizátora, amely meggyorsítja a folyamatokat és elősegíti a vállalt kutatási célok elérését.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Megvalósíthatósági tanulmány: Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások az Óbudai Egyetemen és a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen, 2011.
- [2] Pályázati anyagok:
- KOMJÁTHY László: Tűzoltás és az adott terület árvízrizikójának menedzsmentje (kézirat);
  - SZABÓ Gyula: Munkahelyi ergonómiai kockázatok csökkentésének lehetőségei (kézirat);
  - KRAJNC Zoltán: Humánvédelem - békeműveleti és vészhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése (kézirat);
  - KOVÁCS Tibor: Vészhelyzeti viselkedés technikai megközelítése (kézirat);
  - BOLGÁR Judit: Viselkedés vészhelyzetekben (kézirat);
  - RÉGER Mihály: Működésbiztonság szabályozása (kézirat);
  - HORVÁTH Miklós: Energiabiztonság (kézirat);
  - PADÁNYI József: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására (kézirat);
  - LUKÁCS László: Építmények védelme, megerősítése robbantásos cselekmények ellen (kézirat);
  - HORVÁTH Attila: Közlekedési kritikus infrastruktúra védelem (kézirat).

Dr. Szabó József Zoltán<sup>1</sup>

## REZGÉSCSÖKKENTÉS TENGELY-BEÁLLÍTÁSSAL<sup>2</sup>

### REZÜMÉ

A megbízhatóság és a gépek állapottól függő karbantartása mind a magas szintű ipari termelő berendezések, mind a haditechnikai eszközök üzemeltetésének fontos területe. Az állapotfüggő karbantartást alkalmazó üzemekben az egyik leggyakrabban előforduló probléma a nem megfelelő tengely-beállítás. A tengely beállítási hiba egy berendezés két tengelye közötti párhuzamos, vagy szögeltérést jelenti. Az előadásban a tengelykapcsoló és tengely beállítási hibák típusait, valamint ezen hibák élettartamra gyakorolt hatásával foglalkozom.

A cikkben a gépek műszaki állapot ellenőrzésének egyik legjobb módszerét a rezgés analízist ismertetem, amelynek segítségével az összekapcsolt tengelyek hibáját üzem közben, a hiba korai szakaszában ki lehet mutatni. A nem megfelelő párhuzamos, vagy szög beállítási hiba a rezgésspektrumban veszélyesen magas rezgés amplitúdókat hoz létre az 1x-es és 2x-es forgási frekvencián. Ez teszi lehetővé, hogy a tengely-beállítási hibát a rezgésspektrumban felismerjük, amelynek gyakorlati végrehajtását ipari gyakorlatomból származó esettanulmányon keresztül mutatom be. A konkrét mérési eredményekben egyértelműen elkülöníthető a jó és rossz műszaki állapot, jól szemléltethető, hogy a pontos tengelybeállítással jelentősen csökkenthető a rezgésszint.

### REDUCTION OF VIBRATION WITH SHAFT ALIGNMENT METHOD

### RESUME

The reliability and the predictive maintenance of machines is the very important field both of high level industrial production and the operation of military equipment. The plants having condition based maintenance programs have found one of frequently problem is the misalignment. The misalignment is the parallel or angular difference between two shafts of machinery. This paper presents the definition of misalignment, the types of coupling problems, the shaft alignment failures and the impact these problems to the life time of operating machinery.

The paper reviews the application of the best method of vibration analysis from theoretical and practical point of view. The parallel misalignment results in two hits per cycle and therefore a 2xRPM high vibration in the radial direction. The angular misalignment has similar vibration symptoms, but the angular misalignment primarily subject the driver and driven machine shafts to axial vibration amplitude at the 1xRPM frequency. By the case studies we can follow the decreasing of the vibration level after shaft alignment procedure.

## BEVEZETŐ

A kiváló minőségű termékek előállítása napjainkban már Magyarországon is a hosszú távú piaci siker alapvető feltétele lett. A haditechnikai eszközök esetében a fegyverek és fegyver rendszerek rendelkezésre állása a cél, az ipari termelésben viszont a vevők megkövetelik, hogy a termék előállítója folyamatosan jó minőségben, meghatározott időpontra szállítsa termékeit. A termelés folyamatosságát szintén a gépek magas szintű, állandó üzembiztos működésével érhetjük el.

A gépek üzemeltetése során gyakran fordulnak elő olyan mechanikus hibák, melyek tönkre

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, szabo.jozsef@bkg.uni-obuda.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Kégl Tibor főiskolai docens, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

teszik alkatrészeiket, ezáltal csökkentik élettartamukat. A műszaki gyakorlatban a gépek beállítási problémáinak tekintetében a kiegyensúlyozatlanság, a hajtószíjak nem megfelelő beállítása, a csavarok fellazulása mellett a leggyakoribb beállítási probléma a géptengelyek nem megfelelő egytengelyűsége. Az iparban üzemelő, tengelykapcsolóval rendelkező gépeken ez a hiba közel 50%-ban fordul elő, így diagnosztikai módszerekkel történő kimutatása és kiküszöbölése elengedhetetlenül fontos a hosszú távú üzembiztonság érdekében.

Cikkemben az egyik legfontosabb gépbeállítási módszer, a tengely-beállítás elméleti kérdéseivel és gyakorlati alkalmazásával foglalkozom. Ismertetem a tengelykapcsoló és tengely beállítási hibák típusait, az alkatrészek élettartamára gyakorolt hatását, valamint a beállítás korszerű módszereit. Üzemi körülmények között, egy nem megfelelően beállított gépen a magas rezgés amplitúdók, vagy a jellegzetes hőmérséklet eloszlás utalhatnak a tengely-beállítási hibára. A probléma üzem közben, diagnosztikai módszerekkel történő beazonosítását ipari gyakorlatomból származó esettanulmányokon keresztül szemléltetem.

## 1. TENGELYKAPCSOLÓ ÉS TENGELY-BEÁLLÍTÁSI HIBÁK

Az egy geometriai egyenesbe eső gépek gépláncot alkotnak, melyek részegységei között tengelyek teremtenek kapcsolatot. A tengelykapcsolók feladata két tengelyvég összekapcsolása által a teljesítmény és nyomaték üzembiztos átvitele. A tengelykapcsolók rendkívül sokféle kiviteli változatban készülnek, amelyre néhány jellegzetes példát az 1. ábrán mutatok be. A termelő berendezésekben a leggyakrabban az állandó kapcsolatot megvalósító, nem oldható, merev, illetve kiegyenlítő kapcsoló típusokat alkalmazzuk. Ez utóbbi kapcsoló típus nevében is szerepel az a tulajdonságuk, hogy lehetővé teszik, kiegyenlítik a tengelyvégek kismértékű elmozdulását. Az iparban ezek terjedtek el a legszélesebb körben, mivel a tervező asztalon megálmodott ideális egytengelyű állapotot a valós körülmények között megvalósíthatjuk.[1]



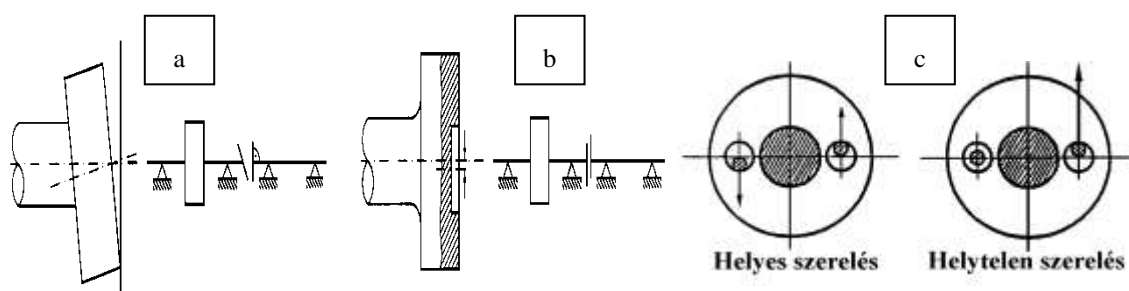
1. ábra Az iparban alkalmazott különféle kiegyenlítő tengelykapcsolók [3]

### 1. 1. A tengelykapcsolók jellemző hibái

A géplánc tökéletes működése, a tengelyek elméleti középvonalának találkozása érdekében a gépeket pontosan kell alapozni és a tengelyeket is gondosan kell beállítani. Mindezek előtt azonban ügyelni kell a tengelykapcsolók tökéletes gyártási pontosságára, valamint a gondos összeszerelésére. A hibásan elkészített vagy hanyagul összeszerelt tengelykapcsolóknál a tengely ugyanolyan deformációt szenved, mintha pontatlanul állítanánk be tengelyeket. A deformáció következtében a csapágyakra olyan nagymértékű körforgó terhelés adódik, amely jelentősen befolyásolja a gép élettartamát. A tengelykapcsolók esetében a 2. ábrán látható

háromféle geometriai hibát különböztetünk meg: [1]

- **Síkütés:** a tengelykapcsoló homlokán axiális irányban mérhető ki. Ez olyan esetben áll elő, amikor a tengelykapcsoló homloksíkja nem merőleges a geometriai forgástengelyre. Lásd 2. a. ábra.
- **Radiális ütés:** vagy másik nevén külpontosság, a tengelykapcsoló henger felületén mérhető radiális irányú geometriai hiba, mely a legtöbb esetben a pontatlan gyártásból ered. Lásd 2. b. ábra.



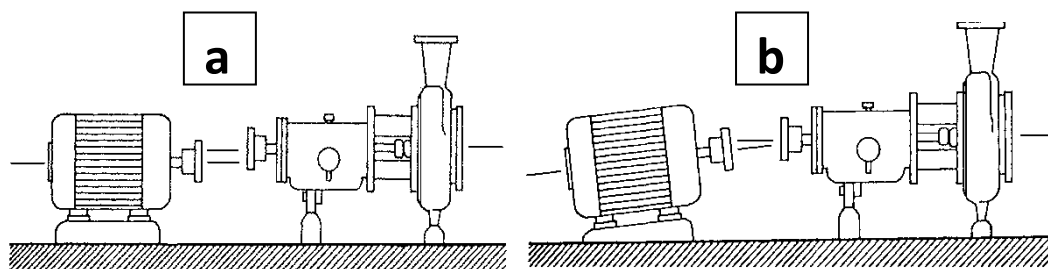
2. ábra A tengelykapcsolók hibái. Síkütés (a), Radiális ütés (b), Osztáshiba (c)

- **Osztáshiba:** a tengelykapcsolók fogainak, dugóinak, lamelláinak, egymásba kapcsolódó részeinek az egyenlőtlen elosztása. Ennek következtében az erő és nyomaték átvivő elemek nem egyenlően részesülnek a terhelésben, amely ezen elemek korai kopását eredményezi. Lásd 2. c. ábra.

## 1. 2. Az alapvető tengely-beállítási hibák

A tengelykapcsolók lehetséges geometria hibáinak ellenőrzése mellett a tengelyek helyzetpontosságát is feltétlenül ellenőrizni kell, mivel a tengelyek a térben a legritkább esetben találkoznak. A tengelykapcsolók beállításakor azzal az elméleti feltételezéssel élünk, hogy a tengelyek egy egyenesbe esnek. A valóságban azonban egy géplánc tengelyei számtalan különféle helyzetet vehetnek fel. Az ideális helyzet, az egybeesés, tökéletesen nem valósítható meg, de napjainkra már igen jól meg tudjuk közelíteni. A tengelyek helyzete szerint három alapesetet különböztetünk meg. [1][2][5]

- **Párhuzamossági eltérést:** A 3. a. ábrán jól látható, hogy párhuzamossági hibáról abban az esetben beszélhetünk, ha a két gép geometriai értelemben vett forgástengelyei párhuzamosak ugyan, de nem esnek egybe. A hiba természetesen a függőleges és vízszintes síkban egyaránt előfordulhat. [4]



3. ábra A tengely beállítási hibák két alaptípusa. Párhuzamos eltérés (a), Metsződés, vagy szöghiba (b) [1]

- **Metsződést (szöghiba):** Metsződés esetén a geometriai értelemben vett forgástengelyek nem párhuzamosak egymással, hanem a vízszintes és/vagy függőleges síkban szöget zárnak be. A metsződés lehet a tengelykapcsoló szimmetria síkjában, de azon kívül eső ponton is. Lásd. 3. b. ábra. [1]
- **Kitérést:** Kitérés esetén a kapcsolódó tengelyek egyszerre párhuzamosan és szögben, illetve vízszintesen és függőlegesen is eltérnek az ideálistól. Az iparban ez a leggyakrabban előforduló tengely-beállítási hiba, kiküszöbölését mindkét síkban el kell végezni. [1]

### 1. 3. A tengely-beállítási hibák okai

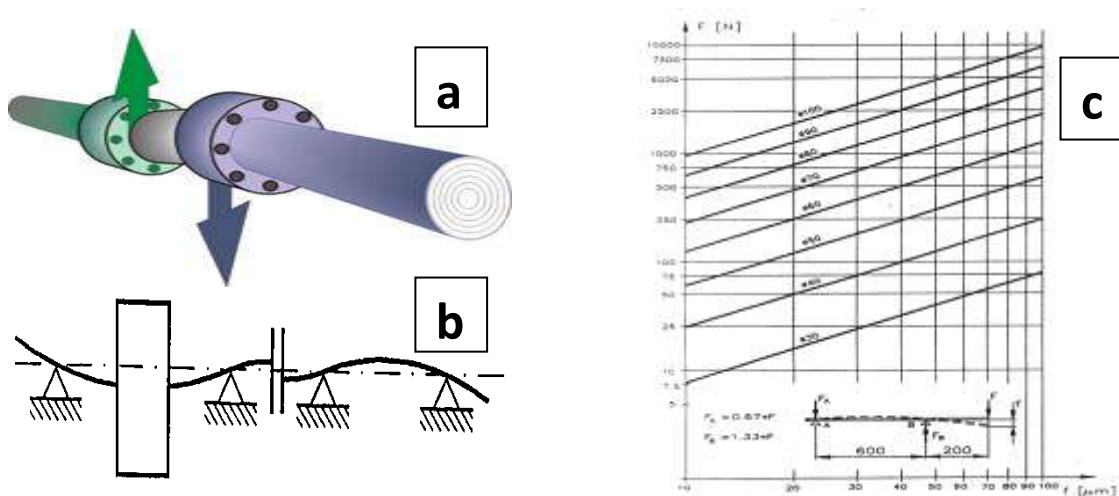
Bármennyire is ügyelünk a tengelykapcsolók gyártási tűréseinek betartására, valamint a gépek telepítésénél a tengelyek helyzetpontosságára, előfordulhatnak egyéb tényezők is, amelyek a tengelyek kitérő helyzetét eredményezhetik. A leggyakrabban előforduló okok az alábbiak lehetnek:

- tervezésnél figyelembe nem vett terhelések okozta deformációk;
- a tengelykapcsolók gyártási hibái, vagy anyaghibái;
- az üzemi hőmérséklet hatására, az eltérő „hőtágulás” miatt létrejött deformációk;
- a szerelés pontatlansága, nem megfelelő mérőműszer használata;
- a forgórész tömege alatt meghajló tengelyek speciális rugalmas szál lehajlása;
- emberi hanyagságra visszavezethető ok (a technológiai utasítások figyelmen kívül hagyása).

## 2. A TENGELY-BEÁLLÍTÁSI HIBÁK KÁROSÍTÓ HATÁSAI

### 2. 1. Tengely deformációk és csapágy károsodások

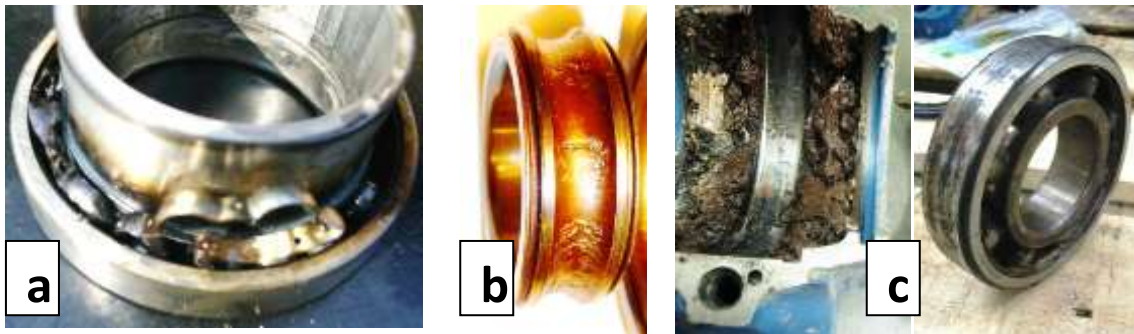
Mi történik akkor, ha egy hajtásláncba hibás tengelykapcsolókat építünk be, vagy az egyébként kitérő helyzetű tengelyeket a szerelés során egy közös egyenes felvételére kényszerítjük? A két tengelykapcsoló fél összekapcsolása (összehúzatása) során ebben az esetben olyan reakció erők jönnek létre, amelyek a tervező által nincsenek a gépszerkezetbe „álmodva”, viszont jelentősen megnövelhetik a csapágyak terhelését, a tengelyek és a tengelykapcsolók deformációját eredményezhetik, amint azt a 4. a és 4. b ábrák is szemléletesen mutatják.



4. ábra A kitérő tengelyeket terhelő erők  
(a), A tengelyek deformációja (b), A deformációból eredő reakció erők (c)

A gép beindításakor a 4. b ábrán látható deformálódott tengely a térben álló semleges szál körül forog, azaz az egész tengely állandó rugalmas deformációt szenved teljes hosszában. Ez az állandó deformációs munka energia veszteséget és a tengelyek idő előtti kifáradását idézheti elő. A rugalmas szál síkgörbe, vagy térgörbe lehet aszerint, hogy a csapágyak egy síkban vannak-e, vagy sem. [1]

A tengely-beállítási hiba okozta lehajlás hatását a 4. c ábra segítségével szemléltetem. Egy tengely csapágyázását a mechanikából ismert egyszerű kéttámaszú tartóként kezelve, az ábrán látható adott geometriai helyzetre kiszámítottam a lehajlásból (a tengelykapcsoló felek összekapcsolásából) adódó kényszererő, illetve az ezzel egyensúlyt tartó csapágy reakcióerők nagyságát. A tengelyátmérőket  $\varnothing 30 - \varnothing 100$  mm, a tengelybeállítás hibáját szimbolizáló lehajlásokat 10 - 100  $\mu\text{m}$  között 10  $\mu\text{m}$ -es lépésenként vettem fel. Logaritmikus léptékben ábrázolva a kapott eredményt, jól látszik, hogy a tengelyátmérő és a tengely-beállítási hiba nagyságának növekedése egyaránt az F erő növekedését eredményezi. A legnagyobb értékeket figyelembe véve pedig megállapítható, hogy egy  $\varnothing 100$  mm-es tengelyátmérőnél és mindössze 0,1 mm-es tengely-beállítási hibánál a tengelyek "összekényszerítéséből" akár  $F_B = 13\,300$  N csapágy reakcióerő is keletkezhet a gép egyéb üzemszerű (előre tervezett) terhelésén túlmenően. Ha figyelembe vesszük, hogy egy átlagos 100 mm-es furatátmérővel rendelkező (pl. 6320 típusszámú) mélyhornyú golyóscsapágy maximális dinamikus alapterhelése 45.000 N, akkor könnyen beláthatjuk, hogy a helytelen beállítás idő előtti csapágy tönkremenetelhez vezethet és közel 30%-os élettartam csökkenést okoz. A csapágy és csapágyház károsodásra mutat példát az 5. ábra képei, melyeken nem megfelelő beállítás miatt bekövetkezett kosár törés (a.), belső gyűrű pittinges kopása (b.), illetve egy csapágyház közel 1 mm-es kopása látható, melyet a tengely-beállítási hiba és a 5. c. képen látható házban megforduló csapágy okozott.



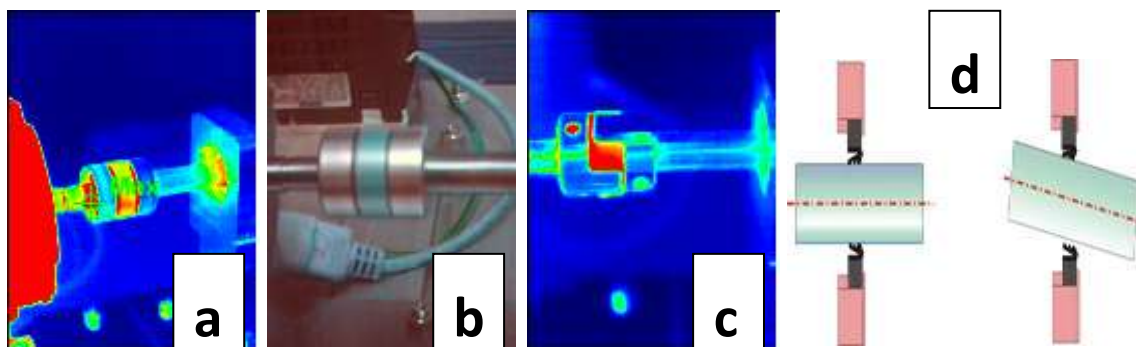
5. ábra Tengely beállítási hiba miatt bekövetkezett gördülőcsapágy és a csapágyház tönkremenetel [11]

A pontatlan tengelykapcsolatból származó erőket a csapágy radiális-, axiális-, vagy szöghezágai némileg ugyan csökkenthetik, de az a paradox helyzet áll elő, hogy minél robosztusabb és merevebb egy gépcsoport, annál pontosabban kell a tengelyeket beállítani a reakcióerők minimalizálása érdekében. Már itt is szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy ezek szerint a beállítást 0,1 mm-nél pontosabban kellene végrehajtanunk, egy átlagos ipari szerelésnél alkalmazott élvonalzó pontossága viszont ez alatt van.

## 2. 2. A tengelykapcsoló melegedése és a tömítések károsodása

A tengely alakváltozását okozó erőhatás mind a hajtó, mind a hajtott gép csapágyainak élettartamára hatással van. Abban az esetben, ha rugalmas tengelykapcsolót alkalmazunk, az erő a

rugalmas elemen jelenik meg és annak tervezettnél korábbi kifáradását, élettartam csökkenését okozza. A belső súrlódás és a deformációs munka következtében a deformációban részt vevő gépelemek, elsősorban a tengely-kapcsolók rugalmas elemei, a tengelyek, illetve a csapágyak melegszenek fel, melyet plasztikusan ábrázol az 6. a, 6. b. és 6. c. ábra. A deformációs munka nem csak hő-fejlődéssel okoz veszteséget, de a súrlódás miatt növeli az energia felhasználást is, hiszen az ily módon hővé alakuló munka növeli a motorok áramfelvételét. Mérésekkel és számításokkal kimutatható, hogy az áramfelvétel növekedés éves viszonylatban akár 4-5 %-os elektromos áramfogyasztás növekedést is okozhat. [5]



6. ábra Rotex tengelykapcsolós hajtás hőképe (a)

Fényképe(b), A tengelykapcsoló betét melededése(c), A tengely-beállítási hiba tömítés károsító hatása (d) [11]

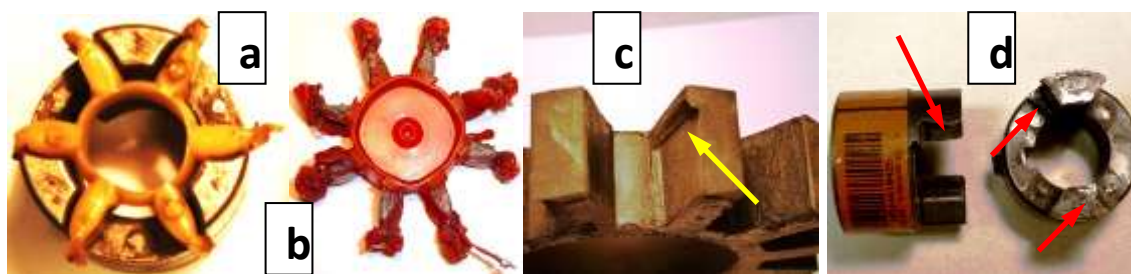
Figyelembe kell még vennünk a károsító hatások elemzése kapcsán azt a tény is, hogy a tengelykapcsoló felekkel összekényszerített ferdén álló tengelyek nem koncentrikusan helyezkednek el a tömítésekben sem. Ezt szemlélteti a 6. d. ábra, amelyen egy tömítés igénybevétele látható. A tönkremenetel folyamata ún. primer károsodásként gyors tengelykopással, a tömítés előregedésével és vetemedésével kezdődik, ebből következően idegen anyag (pl. por) jut a gép belsejébe, ez olajszennyeződést okoz, ami ún. szekunder károsodásként a belső gépelemek, csapágyak, fogaskerekek berágódásához vezet. [2][4]

### 2. 3. A tengelykapcsoló betét és a tengelykapcsoló agy károsodása

A tengelyek kitérő helyzetéből adódó deformációt a tengelykapcsolók rugalmas elemei veszik fel, amelyek a hővé alakuló deformációs munka következtében kilágyulnak, sőt akár el is olvadhatnak. A 6. b. ábrán példaként látható Rotex műanyag betétes tengelykapcsolók alkalmazásával a szerelésre, beállításra fordított idő jelentősen csökkenthető, azonban a műanyagok a hő hatására hamar kilágyulnak, amint azt a szakértői gyakorlatomból származó 7. a. 7. b. és 7. c. ábrák példái is mutatják. Amikor a betét elolvad és a tengelykapcsoló felek kisajtolják maguk közül a műanyagot, megkezdődik a fém részek kopása. Erre egy jellemző példát a 7. d. ábrán kísérhetünk figyelemmel, melyen nyilakkal jelöltem a kopás helyét.

## 3. A TENGELY-BEÁLLÍTÁSI HIBA KIMUTATÁSA REZGÉSMÉRÉSSSEL

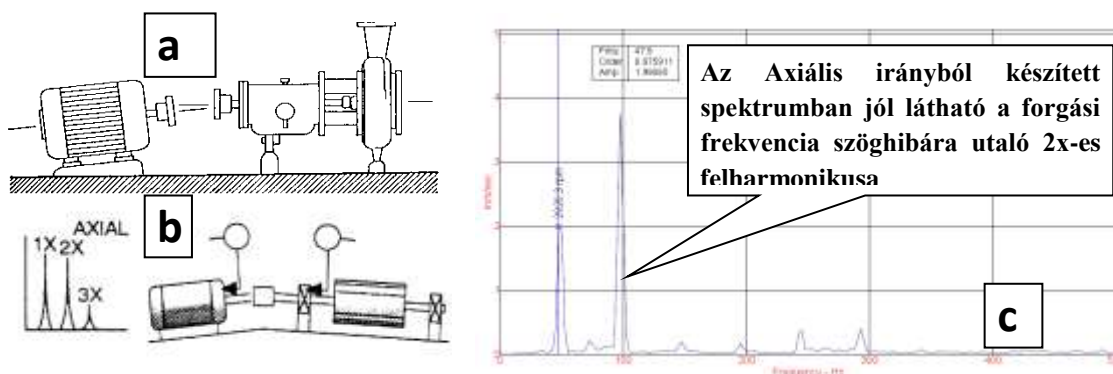
Sajnos még napjainkban is előfordul, hogy a szükséges ellenőrzések és beállítások nélkül állítanak üzembe gépeket, amely sok esetben korai tönkremenetelhez, esetleg géptöréshez vezet. Attól a pillanattól kezdve, amikor egy gépet üzemeltetni kezdenek már csak teljes terhelés alatt, megbontás nélkül tudunk a műszaki állapotáról információt szerezni.



7. ábra Műanyag tengelykapcsoló betétek (a,b,c) és tengelykapcsoló agy (d) károsodása [11]

Erre a legalkalmasabb a műszaki diagnosztikai módszer a rezgésdiagnosztika, amely a rezgések idő- és frekvenciatartománybeli jellemzőinek meghatározásával a gép leállítása, vagy szétszerelése nélkül is képes a mechanikus hibák kimutatására. A tengely-beállítási hiba hatására keletkező erőket, illetve az ezekből létrejövő rezgéseket a modern rezgésmérő műszerek az időjel és a frekvenciaspektrum grafikus megjelenítése útján jelzik ki. Ezekben a spektrumokban a rezgés amplitúdó, a frekvencia és fázisszög alapján sok más jellegzetes hiba mellett a tengely-beállítási probléma is beazonosítható. [5]

A tengely-beállítási hiba jelenléte a tengelyek deformációjában nyilvánul meg, amely a tengely körülfordulása miatt pulzáló erőhatásokat hoz létre a csapágyazási helyeken. Az ismétlődő erőhatások jellegzetes frekvencia spektrumot hoznak létre, hiszen az erő impulzusok a tengely fordulatszámán, valamint ennek egész számú többszörösein (felharmonikusain) fognak rezgés-amplitúdókat gerjeszteni. A tengely beállítási hibákat jellemző szimptómák ismeretében a különféle más hibáktól, pl. csapágyhibák, kiegyensúlyozatlanság, fellazulás, stb. el tudjuk különíteni a rezgésjeleket, így a pontos diagnózis ismeretében megfelelő karbantartási intézkedéseket lehet fogantatosítani.



8. ábra A szöghiba sematikus ábrája [4] (a). Jellegzetes spektrumképe, [5] (b).

Egy általam mért centrifugál szivattyú szöghibára utaló axiális rezgésebbesség spektruma (c) [11]

### 3. 1. A szöghibára utaló jellegzetes rezgésspektrum

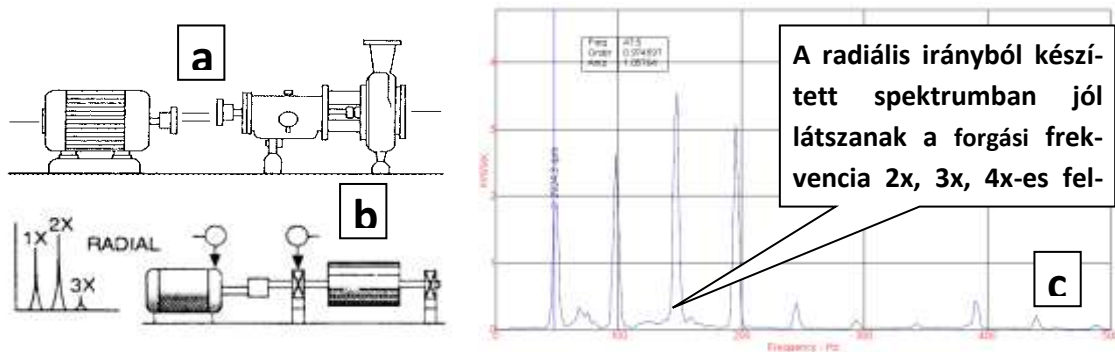
Az egymáshoz képest szögben álló tengelyeket a pulzáló erők egy körülfordulás alatt kétszer hajlítják meg, ezért a szöghiba jelenlétét a rezgésspektrumban magas axiális irányú rezgés és a tengelykapcsoló két oldalán szintén axiális irányban mérhető 180°-os fázisszög különbség jellemzi, amint az a 8. ábrán is megfigyelhető. Ez arra utal, hogy a tengely egy körülfordulása során egyszer pl. lefelé, egyszer felfelé hajlik. A hiba jellegzetessége, hogy magas amplitúdót találunk a spektrumban a forgási frekvencia 1x-es és 2x-es harmonikusainál, azonban nem



ritka, a 3x-os frekvencián, vagy az ezeknek egész számú többszöröseinél jelentkező magas amplitúdó sem. A hiba tökéletes azonosítása a 2x-es axiális felharmonikus 180°-os fázisszög különbségével lehetséges. A szöghiba megjelenésére mutat példát az 8.c. ábra, melyen egy szeszipari centrifugál szivattyú tengelykapcsoló felőli motorcsapágyának axiális irányból készített rezgésebbesség spektrumképe látható. A szivattyún lézeres tengelybeállító készülékkel is azonosítható volt a megengedhetőnél nagyobb mértékű szöghiba jelenléte. [5]

### 3. 2. A párhuzamos tengely-beállítási hibára utaló jellegzetes rezgésspektrum

A párhuzamos tengely-beállítási hiba hasonló rezgés jelenségeket produkál mint a szöghiba. A magas rezgés amplitúdók és a tengelykapcsoló két oldalán mérhető 180°-os fázisszög különbség ez esetben, amint a 9. ábrán is látható, radiális irányban jelentkeznek. A 2x-es harmonikus gyakran magasabb mint az 1x-es amplitúdó, ezek egymáshoz viszonyított arányát általában a tengelykapcsoló típusa, illetve a hajtás kialakulása határozza meg. Amikor egy párhuzamossági tengelybeállítási hiba veszélyessé válik, a spektrumban a magasabb (4x-es - 8x-os) felharmonikusokon is magas rezgéscsúcsokat, vagy a magasabb felharmonikusok teljes sorozatát diagnosztizálhatjuk.



9. ábra A párhuzamos eltérés sematikus ábrája[4] (a), Jellegzetes spektrumképe[5] (b), Egy általam mért centrifugál szivattyú párhuzam hibára utaló axiális rezgésebbesség spektruma(c) [11]

Ipari gyakorlatomból a párhuzamos tengely-beállítási hiba megjelenésére az 8. c. ábrán mutatok példát, melyen szintén egy centrifugál szivattyú tengelykapcsoló felőli motorcsapágyának radiális irányból készített rezgésebbesség spektrumképe látható. A szivattyún lézeres tengelybeállító készülékkel azonosítható, a megengedhetőnél nagyobb párhuzamos eltérés volt. [7]

A műszaki gyakorlatban a feszültség alatt forgó géprendszerek esetében a szinuszos gerjesztésre adott válasz nem lesz harmonikus, mert a gépek a feszültség hatására a rugalmassági tenzor nem lineáris szakaszára terelődnek. Abban az esetben, ha a válasz függvény nem harmonikus, akkor ennek felbontása során felharmonikusok és oldalsávok jelennek meg a spektrumban. Az összekapcsolt gépek feszültség alatt járnak, ha a spektrum első három felharmonikus amplitúdójának összege meghaladja a forgási frekvencia amplitúdóját.

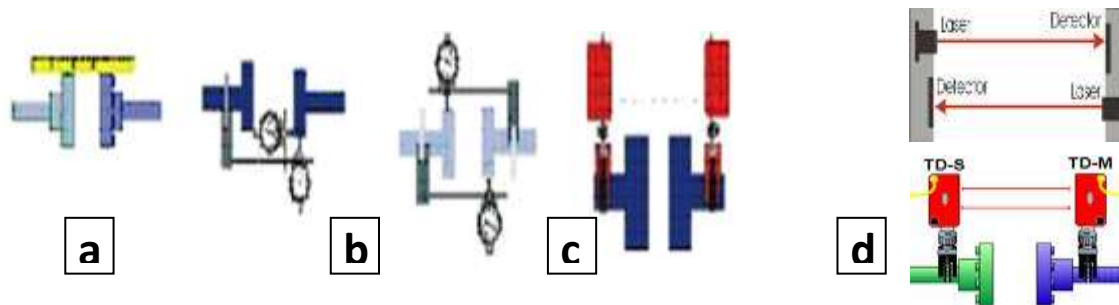
## 4. A TENGYELY-BEÁLLÍTÁSI HIBÁK ELLENŐRZÉSE ÉS BEÁLLÍTÁSA

### 4. 1. A tengely-beállítási módszerek

Amint az előzőekből láttuk a tengely-beállítási hibák rezgésméréssel üzem közben is kimutathatók, a pontos tengelybeállítás azonban csak álló gép esetén lehetséges. A következőkben

nézzük meg, hogyan történik a tengely-beállítás ellenőrzése, illetve nem megfelelő beállítás esetén a probléma kiküszöbölése. [2]

Mivel a tengely-beállítási hibák leggyakrabban „kitéró” tengelyhelyzetként jelennek meg, a gépcsoportok beállítását a vízszintes és függőleges síkban egyaránt el kell végezni. A vízszintes mozgatás elcsúsztatással a függőleges pedig alátétlemezekkel történik. Gépláncok esetében a beállítást mindig a munkagépnél kell kezdeni, a munkagép ugyanis általában a legnehezebb, így hozzá képest a hajtóművet, illetve a hajtóművekhez képest a villamos motort egyszerűbb mozgatni. A géptengelyek egymáshoz képest vett helyzetét a hagyományos mérési eljárások segítségével durva beállítás esetében élvonalzóval (lásd 10. a. ábra), illetve a 10. b. ábrán látható módon, mérőórákkal lehet kimérni. Ez az a klasszikus módszer, amikor a mérőórát nullázva, majd a tengelyt körbeforgatva négy mérési pozícióban le kell olvasni, dokumentálni kell az eredményeket, majd trigonometriai számítással határozzuk meg az eltérést. Mindkettő hosszantartó és a korszerű lézeres tengelybeállításhoz képest pontatlan művelet.



10. ábra A tengely-beállító módszerek (a.), (b.) és (c.), valamint az iker lézer adó-vevő kialakítása (d.) [5]

Napjaink korszerű 10. c. és 10. d. ábrán látható iker lézeres elven működő tengelybeállító eszközeiben a mérőórákat lézer detektorok váltották fel, amelyek ezredmilliméter pontossággal képesek a lézersugár becsapódási helyét érzékelni akár 20 méter távolságban is. Az időigényes és emberi tévedésre lehetőséget adó számológépet beépített számítógép váltotta fel, amely a lézer detektor által szolgáltatott mérési eredményeket másodpercenként többször is képes kiértékelni, majd az érintős képernyőn megjeleníteni. [7]

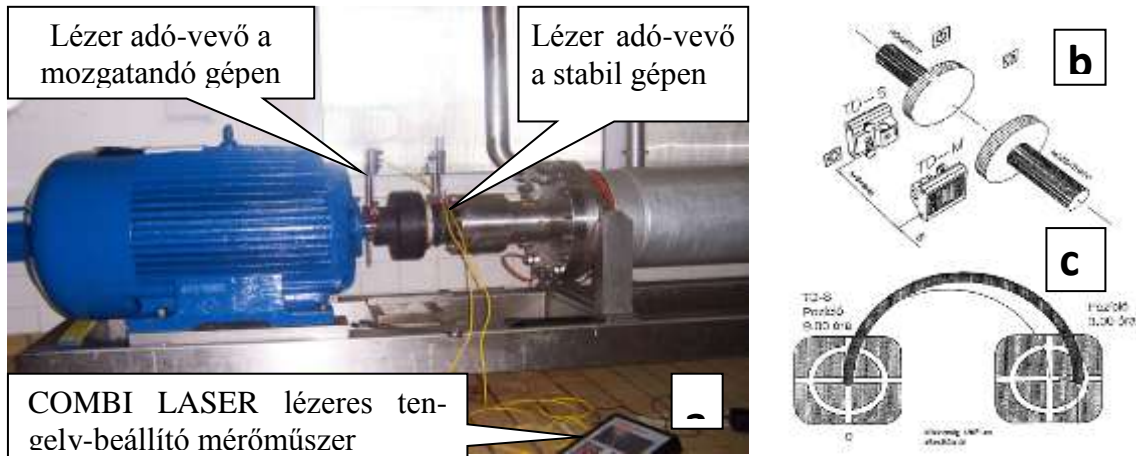
Ez nemcsak a mérés pontosságát növeli, de a tengelybeállítás időigényét is jelentősen csökkenti, nem is beszélve a gyors dokumentálhatóságról, amely áttekinthető formában ad képet a beállítás előtti és utáni állapotról.

#### 4. 2. A tengely-beállítás folyamata lézeres tengely beállító készülékkel

A két lézer adó-vevő egységet a beállítandó tengelyekre szereljük a láncos, vagy mágneses rögzítő elemek segítségével. A TD-S jelűt mindig az álló vagyis a stabil gépre, míg a TD-M jelűt a mozgatható (beállítandó) gép tengelyére, amint azt a 11. a. ábra szemlélteti.

A mérések úgy végezhetők el, hogy a tengelykapcsolót tengelyekkel együtt elfordítjuk a három különböző 9.00, a 3.00 és a 12.00 órát reprezentáló pozíciókba lásd 11. c. ábra. Ha a tengelyeket elfordítjuk 180°-kal, a lézersugarak és a detektorok a 11.b. ábrának megfelelő módon két különböző félkört írnak le, abban az esetben, ha a tengelyek középvonala között eltérés van. Ezen félkörök középpontjai az álló (stabil) és a mozgó (mobil) egység forgási középpontjait képezik. A detektorok a két félkör helyzetét mérik. A beállítás során 11.c. ábrának megfe-

először 9 óránál nullázzuk, majd 3 óránál a vízszintes, 12 óránál a függőleges egytengelyűséget ellenőrizzük. [7]



11. ábra Példa a COMBI-LASER tengely beállító műszer felszerelésére[11] (a), A műszer három fő mérési pozíciója (b) A mérési elv bemutatása, a lézersugár becsapódási helyének eltérése hiba esetén (c) [7]

A műszerbe épített számítógép és a 12. a. ábrán látható display egység a detektorok távolságából a bezárt szöget és a mért értékek közötti eltérést jelzi ki. A mért értékek az ábrán látható képernyőn párhuzamos eltérésként és szöghibaként jelennek meg. A display egység megmutatja a gép alapjának helyzetét is, vagyis azt az értéket amellyel az aktuális lábat elmozdítva egy egyenesbe kerülnek a tengelyek. A kijelzőn megjelenő értékek a mérés során változnak, tehát mérés közben is láthatjuk, hogy helyes irányban, megfelelő mértékben sikerült-e elmozdítanunk a gépet.

Fordulatszám [1/min]	Megengedhető szöghiba: [mm/100mm]		Párhuzamossági hiba [ mm ]	
	Jó	Elfogadható	Jó	Elfogadható
3600	0.03/100	0.05/100	0.025	0,05
3000	0.05/100	0.06/100	0,05	0,07
2000	0.06/100	0.08/100	0,06	0,10
1500	0.07/100	0.10/100	0,07	0,15
900	0.10/100	0,15/100	0,10	0,20

1. táblázat A tengelybeállítás ajánlott beállítási pontossága a COMBI LASER típusú műszer esetében [7]

A műszeres beállítás kapcsán szólnunk kell még a tengelybeállítás pontossági előírásairól. Amint az előző fejezetekből kitűnik, ez függ a tengelyátmértől, de a legfontosabb paraméter a fordulatszám, mivel ez nagymértékben befolyásolja a tengelyt és csapágyazást terhelő ismétlődő igénybevétel számát. Napjainkban egy tengelykapcsolat beállítási pontosságát már a tervezés során figyelembe veszik. Értékét általában a gépet tervező cég adja meg a gyártó és az üzemeltető részére átadás-átvételi kritériumként. A fordulatszám függvényében általános ajánlásokat minden műszergyártó készít a saját eszközeikhez. Erre példát az 1. táblázatban láthatunk, amely szemléletesen mutatja a fordulatszám növekedésével szigorodó előírásokat.

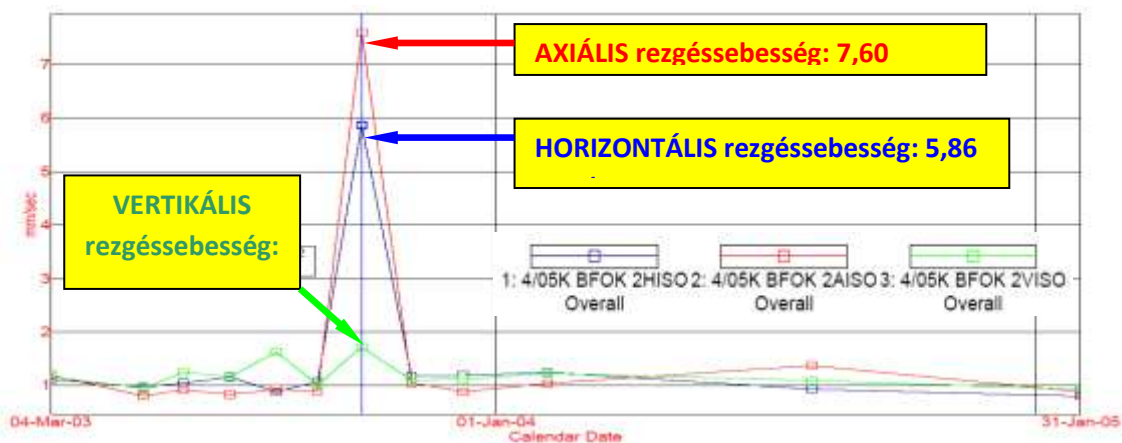
## 5. VÁKUUMSZIVATTYÚ REZGÉSDIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATA ÉS EGYTENGELYŰSÉG BEÁLLÍTÁSA

Egy élelmiszeripari gyárban üzemelő  $P=30$  kW teljesítményű,  $n=2980$  1/min fordulatszámú vákuumszivattyú fényképét a 12. b. ábrán kísérhetjük figyelemmel, amely a valóságban egy egyszerű motorból – tengelykapcsolóból – szivattyúból álló gépláncnak felel meg. [8]



12. ábra A COMBI LASER műszeren kijelzett információk [11] (a),  
Az esettanulmányban szereplő vízgyűrűs SIHI LPH típusú vákuumszivattyú képe (b) [8]  
A motor-szivattyú egység mérési azonosítóinak felépítése (c)

A szivattyú feladata egy ún. „dobszárító” egység felületére az élesztőtej vákuummal történő „rászívása”, majd szigorú technológiai előírásnak megfelelő, nagymennyiségű nedvesség kiszivattyúzása. A szivattyú fontos szerepet tölt be az élesztőgyártás folyamatában, mivel ennek segítségével állítják elő a végterméket. Tökéletes működése meghatározó az élesztő minőségét illetően, leállása esetén az élesztőgyártás szünetel, nem tudnak élesztőt előállítani.

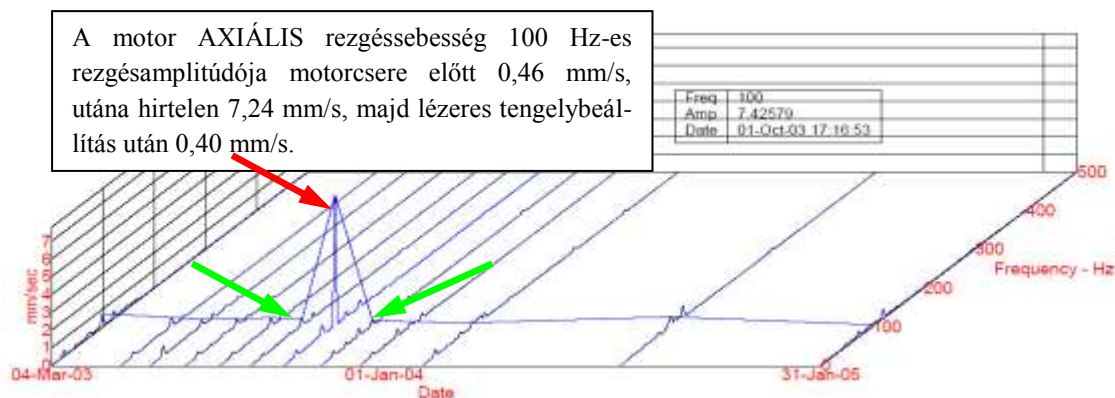


13. ábra A vákuumszivattyú kuplung felőli motorcsapágyának vízszintes, függőleges és axiális rezgésebbesség mérési eredményei, RMS „overall” értékek a 10-1000 Hz frekvencia tartományban[11]

A 13. ábra rezgésmérési trendjén látható időszakban a gépen több éven át, havi, majd negyedéves gyakorisággal rendszeresen végeztem rezgésdiagnosztikai állapotfigyelést a vezetésem alatt álló Mc. Method Műszaki Szolgáltató Betéti Társaságon keresztül. A vákuumszivattyú rezgésmérése a 12. c. ábrának megfelelően, a motor és a szivattyú csapágyazási helyein vízszintes (HOR), függőleges (VER) és axiális (AXI) mérési irányokban történt. A rezgésmérés során ugyanazon műszerbeállításokkal a ugyanazon mérési helyeken a mechanikus hibák kimutatására szolgáló rezgésebbesség, valamint a csapágy elhasználódásra utaló rezgésyorsu-

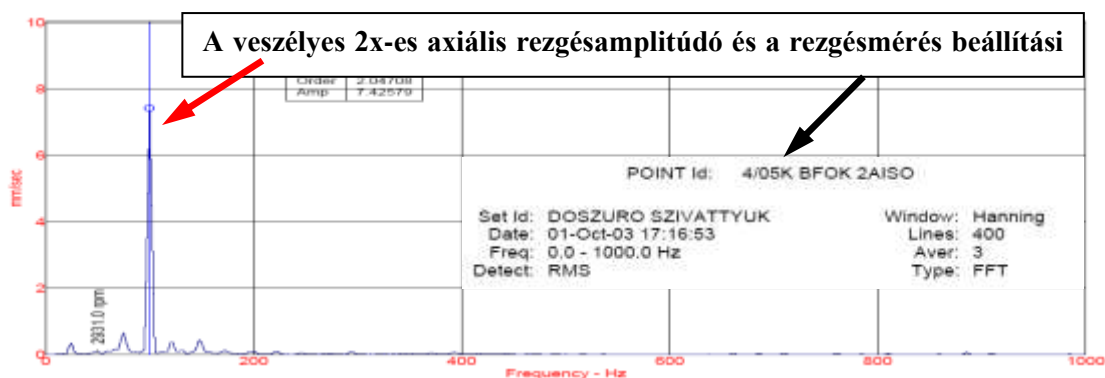
lás, Envelop<sup>3</sup>, SEE<sup>4</sup> és HFD<sup>5</sup> rezgésjellemzők diagnosztikai méréseit végeztem el.

A gép rezgésmérését SKF MICROLOG CMVA 10 típusú digitális rezgésanalizátorral, többfunkciós Wilcoxon CMSS 786 M piezoelektromos érzékelővel hajtottam végre. [9]A mérés során keletkező nagyszámú mérési adat és rezgésspektrum feldolgozását a PRISM4 for Windows mérési adatfeldolgozó és kiértékelő szoftverrel végeztem el. Ezt a szoftvert használtam a cikkben látható rezgésspektrumok, trendek és „palogram” diagramok dokumentálásában is.



14. ábra A motor tengelykapcsoló felőli csapágyának axiális (2AXI) rezgésebbesség spektrumon belüli változásait bemutató "palogram" diagram [11]

A berendezés tartósan elfogadható rezgésszinten üzemelt, (melyet a 13. ábra trendjén és a 14. ábra „Palogram” diagramján figyelemmel kísérhetünk) egészen addig, míg a gépen 2003 szeptemberében egy elektromos probléma, motor forgórész tekercs szakadás miatt, motort nem kellett cserélni.



15. ábra A tengely-beállítási hibára utaló veszélyes (7,42 mm/s) axiális rezgésebbesség amplitúdó [11]

Az szokásos októberi ellenőrző rezgésmérés során a szivattyú tengelykapcsoló felőli csapágyain veszélyes rezgésnövekedést diagnosztizáltam, melynek valószínűsíthető oka az volt, hogy a csere során a szakemberek nem gondoltak a pontos tengelybeállítás fontosságára, így hirtelen jelentős rezgésebbesség növekedés jött létre axiális és horizontális mérési irányban.

Az ISO 10816 szabvány szerint erre a vákuumszivattyúra a 10-1000 Hz frekvenciatartomány-

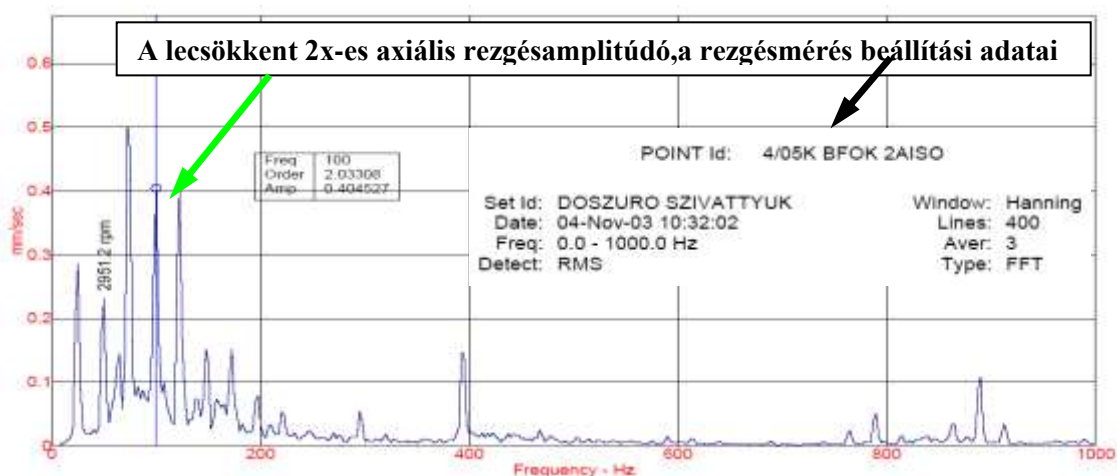
<sup>3</sup> Envelop – Az SKF csapágyvizsgálathoz szabadalmaztatott rezgésgyorsulás burkológörbe eljárása [9]

<sup>4</sup> SEE – Spectral Emitted Energy - Az SKF kenési állapot vizsgálatára szabadalmaztatott eljárása [9]

<sup>5</sup> HFD – High Frequency Domain - Az SKF nagyfrekvenciás csapágyvizsgálatra szabadalmaztatott eljárása [9]

ban a rezgésebesség RMS<sup>6</sup> „overall” értékének nem kielégítő értéke 2,8 mm/s, a veszélyes szint határa 7,1 mm/s. [10] Ez alapján megállapítottam, hogy a rezgések veszélyes nagyságúak, ezért azonnali beavatkozásra van szükség. A rezgésspektrumok kiértékelése során kimutattam, hogy a spektrumon belüli rezgésnövekedés axiális irányban a 2x-es forgási frekvencián következett be, amely alátámasztotta a vízszintes tengely-beállítási hiba diagnózisát.

Természetesen sürgős egytengelyűség ellenőrzést javasoltam, melyet hamarosan végre is hajtottunk egy COMBI-LASER típusú tengelybeállító készülék segítségével. A tengelybeállítás során a műszer horizontális irányban 0,3 mm-es párhuzamossági, illetve 0,48/100 mm-es szöghibát mutatott ki. Az 1. táblázat alapján ez egyértelműen alátámasztotta a veszélyes szöghiba rezgésspektrum alapján diagnosztizált szimptomáit. Mivel viszonylag kis gépről volt szó a hibát kb. egy óra alatt sikerült megszüntetni, ami a műszer fel és leszerelését is tartalmazta.



16. ábra A tengely-beállítási hiba megszűnésére utaló 0,40 mm/s axiális rezgésebesség amplitúdó [11]

A beállítás után az ellenőrző rezgésmérést elvégezve megállapítottam, hogy a hiba kiküszöbölése tökéletesen sikerült. Ezt mutatja a 13. ábra trendje, a 14. ábra „palogram” diagramja, melyekben jól látszik a beavatkozás előtti és utáni amplitúdó változás. A 16. ábra spektrumképe mutatja, hogy a 100 Hz-es 2x-es rezgésebesség amplitúdó 7,42 mm/s-ról 0,40 mm/s-ra csökkentésével a gép műszaki állapotát sikerült megfelelő szintre visszaállítani.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkemben a tengely-beállítási hibákkal foglalkoztam, melyek a gépek gyors tönkremenetelét okozhatják, ezért a folyamatosan termelő üzemek alapvető érdeke a hiba időben történő felismerése. Az esettanulmány alapján belátható, hogy a korszerű eszközök használata jelentősen megkönnyíti a hiba feltárását, illetve gyors beavatkozást biztosít annak kijavítására is. Hozzá kell még tennem, hogy a vákuumszivattyú esetében egyértelműen sikerült megakadályozni a motorcsapágy váratlan tönkremenetelét, mivel a karbantartók meg voltak győződve arról, hogy a „szerintük” jól végzett karbantartási munka után a szivattyú sokáig hibamentesen fog üzemelni. Az éppen időben elvégzett hatékony beavatkozás nélkül a motor, vagy a

<sup>6</sup> RMS – Root Mean Square, négyzetes középátlag



szivattyú csapágy tönkremenetele, a gép kényszerleállása akár több millió forint veszteséget is okozhatott volna. A tengely-beállítási hiba nem csak a termelő vállalatoknál, hanem a haditechnikai eszközök üzemeltetésében is fontos szerepet játszik, hiszen csak megfelelően beállított gép esetében lehetünk biztosak annak hadrafoghatóságában.

A napjainkban több cég által forgalmazott, egyre népszerűbb lézeres tengelybeállító készülékek a tengelybeállításon kívül alkalmasak pályaegyenesség, síklapúság, függőleges tengelyű peremes gépek, kardántengelyek beállítására, valamint az ún. „puha láb” jelenség kimutatására is. Sajnos e cikk terjedelme miatt nem állt módomban az összes mérési lehetőség részletes ismertetése, azonban gyakorlati tapasztalataim alapján elmondhatom, hogy a lézeres tengelybeállító készülékek rendkívül meggyorsítják az üzemekben működő gépek javítását és jelentős karbantartási időt takaríthatnak meg a felhasználók számára.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a cikk és előadás a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások projekt keretein belül készült. „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

This article made in „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások projekt”. The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZABÓ József Zoltán - Dr. KÉGL Tibor : A tengelybeállítás korszerű eszközei. Gépgyártástechnológia 1994 I – II. szám, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 1994. pp. 65.
- [2] Dr. KÉGL Tibor - SZABÓ József Zoltán: Műszaki diagnosztika (főiskolai jegyzet,) Bánki Donát Gépipari Műszaki Főiskola Kiadói Hivatala 1993. 2. kiadás 2003, 3.kiadás 2008, L-253.
- [3] ROTEX Tengelykapcsolók <http://www.ktr.com/en/products/couplings/rotex/standard.htm> (2012.03.25)
- [4] C.SCHEFFER-P.GIRDHAR: Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance Verlag: Newnes 30. September 2004
- [5] SZABÓ József Zoltán : Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása Doktori Ph.D. értekezés ZMNE, 2011.
- [6] [http://www.skf.com/portal/skf\\_hu/home?\\_requestid=4422344](http://www.skf.com/portal/skf_hu/home?_requestid=4422344)
- [7] <http://www.fixturlaser.hu>
- [8] <http://www.sterlingsihi.com/cms/hu/home/gyors-navigacio/letoltések.html>
- [9] CMVA60 Microlog, Adatgyűjtő/Elemző Kezelési utasítás SKF Condition Monitoring Inc., San Diego, 1999
- [10] ISO 10816-1 – International Standard: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts Reference number: ISO 10816 1:1995/Amd.1:2009( E )
- [11] Dr. SZABÓ József Zoltán : Saját fotó, saját ábra



Prof. dr. Szabó Sándor, CSc.<sup>1</sup> – Dr. Tóth Rudolf, PhD.<sup>2</sup>

## A REPÜLŐTÉRI LÉTESÍTMÉNYEK ROBBANTÁSOS CSELEKMÉNYEK ELLENI VÉDELMEINEK NÖVELÉSI LEHETŐSÉGEI<sup>3</sup>

„Napjaink permanens változásai kapcsán átértékelődött a Biztonság, mint érték kategória. A Nemzeti Biztonsági Stratégia összefoglalta mindazon tényezőket, amelyek a biztonságunkat fenyegetik, és kijelölte a kereteket, irányokat, amelyek mentén az ország, a lakosság biztonságát szavatolni lehet és kell.”<sup>4</sup> [21] A biztonsági kihívások között a szakértők legnagyobb veszélyként a terrorizmust jelölik meg. Sajnálatos, hogy az egyik legdurvább és leggyakrabban alkalmazott módszerré a robbantásos cselekmények váltak. A nemzetbiztonsági szolgálatok megkülönböztetett figyelmet fordítanak a terrorizmus elleni harcra. A feladat nem könnyű, mivel a terrortámadás célpontja, ideje, helyszíne, szinte meghatározhatatlan, ezért a szakértők a megelőzésre fektetik a fő hangsúlyt. Felmérik a potenciálisan lehetséges célpontokat és a terrorcselekmény végrehajtási feltételeinek minimálisra csökkentésével igyekeznek azt megakadályozni. A sok-sok lehetséges célpontok között szerepelnek a különösen fontos objektumok, építmények. Ezek közül az egyik leggyakrabban támadott célpont a repülőtér.

### IMPROVEMENT PROTECTION OF AIRFIELDS FACILITIES AGAINST BLASTING ACTS

Due to today's permanent changes, security as a valuable category also reevaluated. The National Security Strategy summarized all the factors threaten our safety, and determined frames and direction needed to guarantee the safety of the country and the inhabitants. According to experts among security challenges the terrorism is the biggest danger. Unfortunately, the terrorist blasting became the most frequent and rough activity. The national security services pay distinguished attention to the fight against terrorism. The task is not easy, since the target, time and location of terrorist attacks almost indefinable therefore, the experts' main task is the prevention. They estimate the potential targets and try to minimize the conditions of a possible terrorist attack. Special objects, structures and buildings are among the possible targets of an attack. One of the most frequently attacked targets is the airport.

### A TERRORIZMUS ÉS A TERRORCSELEKMÉNYEK FOGALMA, JELLEMZŐI, CÉLOBJEKTUMAI, ESZKÖZEI, NAPJAINK KIEMELKEDŐ TERRORCSELEKMÉNYEI

A mindennapok során az emberek gyakran találkoznak a terrorizmus, terrorista, terrorcselekmények szavakkal, vagy kifejezésekkel és kialakult bennük egy „kép” ezekről a fogalmakról. A felmérések szerint legtöbbször elsőként a robbantásos merényletekre, esetleg a repülőgépetérítésekre gondolnak, de ide sorolják az emberrablásokat és gyakran a politikai jellegű

<sup>1</sup> ny. mk. ezredes, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, szabo.sandor@uni-nke.hu

<sup>2</sup> ny. mk. dandártábornok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, toth.rudolf@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán mk. örgy., egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, kovacs.zoltran@uni-nke.hu

<sup>4</sup> Hornyacsek Júlia: A települési védelmi képességek a katasztrófa-kihívások tükrében, "Biztonságunk érdekében" Oktatási- és Tanácsadó Tudományos Egyesület Budapest, 2011. 3. o. ISBN: 978-963-08-2606-8



gyilkosságokat is. De vajon lefedi e, ez az elképzelés napjaink terrorizmusának lényegét? Mielőtt rátérnénk ennek vizsgálatára, célszerű áttekinteni a terrorizmus alapvető ismérveit.

## A terrorizmus alapvető jellemzői [1]

Az, amit ma terrorizmusnak nevezünk, ősidők óta jelen van az emberiség történelmében. Ezek célja, eszközei és jellegük folyamatosan változott, azonban az alap, a motiváció, vagyis a fanatista harc a szent cél elérése érdekében, mindig ugyanaz maradt. Európában a XIX. század második felétől szaporodtak meg a terrorista cselekmények és ez a tendencia a XX. században is folytatódott. Napjainkban jóval több terrorszervezet jött létre és vált ismerté, mint a korábbi évtizedekben. A terrorizmus ezen új korszakát a politikai gyilkosságok intézményesülése jellemezte, melynek során politikai személyiségeket, uralkodókat, köztársasági elnököket, kormányzókat, képviselőket, tanácsadókat, stb., gyilkoltak meg ideológiai, vagy vallási okokból.<sup>5</sup> Ezeknek a terrorakcióknak egyik legfontosabb közös jellemzője, hogy a célszemélyeken kívül ártatlanok csak ritkán haltak meg a támadásban. [2]



1. kép Ferenc Ferdinánd és hitvese közvetlenül a merénylet előtt.<sup>6</sup>

A terroristák fanatizmusa európai gondolkodással nehezen érthető. Az öngyilkos merényletek, a céltalan tömegpusztítás és károkozás, a gyerekek, nők, idősök és fiatalok, zsidók, keresztények, muzulmánok, szegények és gazdagok válogatás nélküli mészárlása eddig nem tapasztalt és semmivel sem magyarázható tragédiák sorozatát indította el. ***A terrortámadások közül kiemelt jelentősége van a 2001. szeptember 11-i amerikai támadásnak, mert ez a nap vált a totalista terrorizmus szimbólumává.*** A támadás célpontjai az **1. ábrán** láthatók.

A támadás az egész világot megrázta. Az amerikai emberek rádöbbentek arra, hogy megszűnt az Egyesült Államok tengeren túli védettsége, országuk sebezhetővé vált.

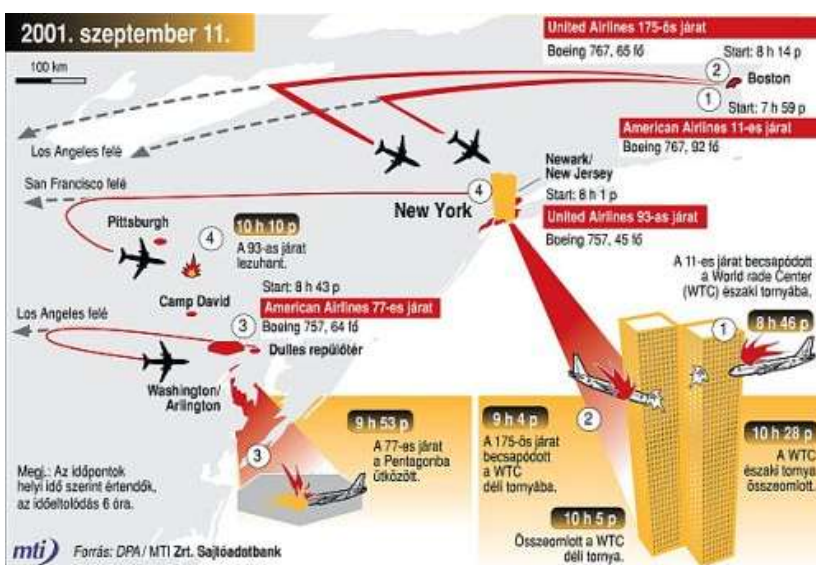
Jelenleg egy civilizációk közti konfliktus eszkalálódásának vagyunk tanúi, ahol a béke (le-

<sup>5</sup> Csak néhány példát említve, akik politikai merényletek áldozataivá váltak: Abraham Lincoln és William McKinley amerikai elnökök, I. Vilmos német, I. Umberto olasz, illetőleg Sándor jugoszláv király, Sadi Carnot francia köztársasági elnök, Ferenc Ferdinánd Habsburg trónörökös, Louis Barthou francia külügyminiszter és Raszputyin orosz cári tanácsadó. Letöltés ideje: 2012. 02. 13.

Forrás: <http://www.publikon.hu/htmls/cikkek.html?ID=23&articleID=345>

<sup>6</sup> Forrás: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Szarajev%C3%B3i\\_mer%C3%A9nylet](http://hu.wikipedia.org/wiki/Szarajev%C3%B3i_mer%C3%A9nylet) Letöltés ideje: 2012. 02. 13.

gyen az muzulmán, zsidó, keresztény, vagy bármi más) és a fanatizmus (főleg iszlám típusú) követői harcolnak egymás ellen.



1. ábra 2001. szeptember 11-ei terrortámadás célpontjai.<sup>7</sup>

A terrorizmusnak még nincs egységes, jogilag is elfogadott definíciója. A témával foglalkozó szakemberek állásfoglalásai sem egységesek ebben a kérdésben, de a szakirodalomban vannak olyan körülírások, amelyeket a szakértők a terrorizmus definíciójaként általában elfogadnak. Ilyen lehet például az alábbi meghatározás:

„**A terrorizmus** az erőszak alkalmazásának, vagy az azzal való fenyegetésnek olyan stratégiája, melynek elsődleges célja félelem, zavar keltése és ennek révén meghatározott politikai eredmények elérése, vagy a hatalom megtartása.”<sup>8</sup>

A fentiek alapján megállapítható, hogy a terrorizmus általános fogalmának meghatározására annak alapvető jellemzőiből célszerű kiindulni. Ezek a következők: [2]

- **Erőszak:** A fogalom szándékos és módszeres használata, általában közvetlenül vagy közvetetten személyek ellen. A terroristák erőszakos eszközökkel (robbantással, fegyveres *erőszakkal*, stb.) küzdenek céljaik megvalósításáért. Mivel a célok általában nem valósulhatnak meg azonnal (pl. a fennálló politikai rend megdöntése, egy nép függetlenségének megteremtése), a terroristák általában több erőszakos cselekményt is elkövetnek, előre megtervezett módon;
- **Félelem keltése:** Az erőszak alkalmazásának célja a félelemkeltés. A közvélemény nyomása ugyanis – a terroristák elképzelése szerint – rá tudja venni a döntéshozókat a terroristák számára fontos lépések megtételére;
- **Ideológiai-politikai háttér:** A legtöbb elemző egyetért abban, hogy a terroristák cselekményeik igazolásául valamilyen eszmét vagy gondolatrendszert, illetve valamilyen politikai célt neveznek meg, amelytől azt is várják, hogy a közvélemény vagy legaláb-

<sup>7</sup> Forrás: [http://www.sg.hu/cikkek/84433/dollarmilliardokban\\_merhet\\_337\\_a\\_biztonsag](http://www.sg.hu/cikkek/84433/dollarmilliardokban_merhet_337_a_biztonsag) Letöltés ideje: 2012.02.13.

<sup>8</sup> Forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Terrorizmus> Letöltés ideje: 2012.02.13.

bis egy része támogatni fogja. Ilyen eszmékre hivatkoznak a vallási vagy például egy nemzet felszabadítására és egyesítésére törekvő terroristák.

A fentiekben áttekintettük, hogy mi az oka annak, hogy a terrorizmusnak még nincs egységes, jogilag is elfogadott definíciója, a következő alfejezetben megvizsgáljuk, hogy büntetőjogi szempontból a jogszabályok hogyan rögzítik a terrorcselekmények fogalmát, milyen fajtái vannak és melyek a leggyakoribb célpontok.

## **A terrorcselekmények fogalma, fajtái**

A 2001 decemberében az Európai Tanács közös álláspontot alakított ki a terrorcselekményekkel kapcsolatban. Rögzítették, hogy azokat a terrorista célkitűzéseket és a terroristák által elkövetett támadásokat, akciókat, amelyek emberek életét vagy testi épségét veszélyeztetik, közveszélyt okoznak, alapvető szolgáltatásokat veszélyeztetnek, vagy az állam működését akadályozzák, köztörvényes bűncselekménynek kell tekinteni.

A magyar büntető törvénykönyv átvette a nemzetközi előírásokat, meghatározta a terrorcselekmény fogalmát, a terrorcselekményt bűncselekménynek minősíti és megadja a büntetési tételt is. A büntető törvény<sup>9</sup> 261 §-a alapján a **terrorcselekmény fogalma** az alábbiakban rögzíti:

„261. § (1) Aki abból a célból, hogy

- a) állami szervet, más államot, nemzetközi szervezetet arra kényszerítsen, hogy valamit tegyen, ne tegyen vagy eltűnjön,
- b) a lakosságot megfélemlítse,
- c) más állam alkotmányos, társadalmi vagy gazdasági rendjét megváltoztassa vagy megzavarja, illetőleg nemzetközi szervezet működését megzavarja, a (9) bekezdésben meghatározott személy elleni erőszakos, közveszélyt okozó vagy fegyverrel kapcsolatos bűncselekményt követ el, büntett miatt tíz évtől tizenöt évig terjedő, vagy életfogytig tartó szabadságvesztéssel büntetendő.” [5]

A terrorcselekmények, fajtái, elkövetési módjai és az elkövetés eszközei rendkívül változatosak. A hagyományos elkövetési magatartások mellett mindig megtalálhatók benne az adott kor tudományos technikai eredményeire támaszkodó korszerű elkövetési módszerek is.

**A terrorcselekmények fajtái** alapvetően két nagy csoportba sorolhatók. Az egyik a „hagyományos” jellegű módszerekkel végrehajtott terrorcselekmények, a másik, a napjainkra jellemző „új típusú” terrorcselekmények. A hagyományos módszerekkel végrehajtott terrortámadások esetén, az elkövetők használják és alkalmazzák napjaink korszerű támadó eszközeit is. [6]

- **A hagyományos jellegű terrorcselekmények fajtái<sup>10</sup>**
  - Célpont, vagy céltárgy közvetlen támadása késsel, pisztollyal, géppisztollyal, zsineggel, benzines palackkal vagy más gyújtogatásra alkalmas eszközzel, ké-

<sup>9</sup> Az 1978 évi IV. törvény a Büntető Törvénykönyvről. *Letöltés ideje:* 2012.02.27. *Forrás:* [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=97800004.TV](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=97800004.TV)

<sup>10</sup> Oprável László alezredes doktorandusz: A szárazföldi erők hazai bázisú részvételének néhány kérdése a terrorizmus elleni küzdelemben. *Forrás:* <http://www.zmne.hu/dokisk/hadtud/opravel.pdf>, *Letöltés ideje:* 2012.02.27.

- zigránáttal, fizikai csapdákkal, stb.
- Célpont vagy céltárgy nagyobb távolságról történő támadása puskával, géppisztollyal, géppuskával, légvédelmi rakétával, páncéltörő rakétával, tüzérségi eszközökkel, stb.
  - Emberrablás, túszejtéses akciók követségek, intézmények, otthonok, repülőgépek, hajók, autóbuszok, iskolák ellen. Ez általában mindig valamilyen követeléshez kapcsolódik, itt lehetőség van a tárgyalásra is.
  - Súlyosabb, un. köztörvényes bűncselekmények elkövetése, amelyet a terrorizmus kísérőjelenségeként a „terrorizmus megélhetési bűnözésének” is nevezhetnénk. Ide sorolhatók a bankrablások, zsarolások, pénzbehajtások, kábítószer és fegyverkereskedelem, stb.
  - Katonai vagy félkatonai műveletek, gerilla típusú akciók során objektumok, raktárak rajtaütéses elfoglalása, tűzzel történő pusztítása, zavarása. Az ilyen típusú terrorcselekmények napjaikban is előfordulnak. Egyes afrikai országokban, a különböző a gerillaszervezetek hagyományos támadó és védekező harcokkal területeket, városokat, lakott településeket foglalnak el, csapdákat alkalmaznak és leshelyekről támadnak.
- ***Napjaink „új típus” terrorcselekményeinek fajtái***
    - Bombariadók bejelentése, robbantásos akciók végrehajtása repülőgépek, hajók, autóbuszok, vonatok, autók, szállodák, közlekedési, katonai objektumok, posták, áruházak, ellen stb. Egyre gyakoribb módszer a szórakozóhelyek felrobbantása, pokolgépek telepítése, levélbombák küldése. A pokolgépek<sup>11</sup> házilag készített, igen veszélyes eszközök, mivel általában nagy rombolásra készítik lehetőleg úgy, hogy minél többen sérüljenek meg. Katonai rövidítése ezeknek az eszközöknek IED (improvised explosive device).
    - Öngyilkos merényletek, melynek során a terroristák saját testükre erősített robbanószerkezet működésbehozásával, robbanóanyaggal töltött autók, teherautók, hajók célobjektumnak történő vezetésével, elrabolt, eltérített repülőgép közvetlenül a célpontra becsapódásával, a menekülés lehetőségével nem számolva, hajtják végre akcióikat.
    - Számítógépes terrorizmus, (cyber-terrorizmus) jellemzője, hogy nem csak a kormányzati számítógépes rendszerek, bankok, állami intézmények elleni támadásokat foglalja magába, ide soroljuk azokat az információszerzési, vagy továbbítási műveleteket is, amelyek elősegítik vagy támogatják a terrorcselekmények végrehajtását. 1998-ban csak az USA területén közel 300 000 ilyen jellegű eset történt, amelyek közül mintegy 6000 esetben volt kimutatható a támadó részére történő segítségnyújtás és támogatás.
    - Vegy-, biológiai-, nukleáris- és radioaktív (RBV) fegyverek használatával végrehajtott terrortámadások, melyeket a kutatók és a szakemberek összefoglaló néven „**Szuperterrorizmusnak**” neveznek. A terroristák az RBV fegyverek

<sup>11</sup> Forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Robban%C3%B3eszk%C3%B6z>, Letöltés ideje: 2012.02.28.

célirányos alkalmazásával, kis befektetéssel nagy embervesztést érhetnek el. A kiválasztott célországban különösen veszélyeztetettek a városok vízvezetékrendszerei, a nagy irodaépületek komplexumok, a sportcsarnokok, az áruházak, a metrók szellőző rendszerei, stb.

Természetesen, a terrorcselekmények fentiek szerinti csoportosítása nem zárja ki annak lehetőségét, hogy napjainkban egy terrortámadás végrehajtható hagyományos jellegű módszerekkel, melynek során az elkövetők korszerű eszközöket és felszereléseket használnak.

### **A terrorcselekmények végrehajtásának jellemzői, eszközei, célobjektumai**

A terrortámadások sikeres végrehajtásának feltétele, egy „felderítetlen”, jól működő terror-szervezet, a támadáshoz szükséges erőforrások megléte, továbbá, hogy az akció legyen körültekintően előkészítve és gondosan megszervezve.

„A globalizáció az egész világra kiterjedő folyamat, amely a gazdaság, a politika, a kultúra egységesülésének irányába hat.”<sup>12</sup> [22] Napjainkban a globalizáció miatt, az „új típusú” terror-szervezetek tevékenysége nem köthető egy adott földrajzi térséghez, ezért szervezeti felépítésükre a *nehezen felderíthető és felszámolható szervezeti forma a „sejtszerű” felépítés a jellemző*. Fontos kérdés az is, hogy a *terroristák hogyan jutnak a szükséges pénzüsszegekhez, anyagi forrásokhoz*. Gyakori megoldás, hogy különféle "fedőszervezeteket" hoznak létre, amelyek lehetnek vállalatok, bankok, kulturális egyesületek, stb. Ezek lényege, hogy a szükséges – sokszor nem is kis összeget – biztonságosan és a törvényesség látszatát fenntartva szerezzék meg és utalják át az akciót szervezők és végrehajtók számára.

A terroristák által végrehajtott támadások elleni hatékony védekezés egyik fontos kritériuma, hogy ismerni kell a terrorcselekmények végrehajtásának legfontosabb jellemzőit, kritériumait.

**A terrorcselekmények végrehajtásának legfontosabb jellemzői** az alábbiakban foglalhatók össze: [7]

- A globálisan működő terror-szervezetek gyakran nem ott követik el a merényleteket, ahol azok végrehajtását megtervezik, vagy azokra felkészülnek. Előfordul, hogy egyes országokban csak az előkészítés miatt jelennek meg a terrorista sejtek. Így történt ez a 2001. szeptember 11-i merénylet esetében is, a szükséges előkészületek egy részét a terroristák Németországban végezték.
- A terrorcselekmények végrehajtását aprólékos tervezési, szervezési munka előzi meg, amely alapvetően két szakaszra bontható, a **tervezési**, az **előkészítési** szakaszokra. Ezt követi a megvalósítás, amelyet **végrehajtási** szakasznak nevezünk.
- A tervezési és az előkészítési szakaszokban előfordulhat, hogy valaki rendszeresen olyan területre téved, ahol tartózkodását semmi sem indokolja, vagy éppen olyan gyanús beszélgetéseknek, társalgásoknak lehetünk szem és fültanúi, amelyek kapcsolatba hozhatók egy esetleges terrorcselekmény végrehajtásával. A végrehajtási szakaszban, a kivitelezés módjától függően, több olyan gyanús jel is tapasztalható, amely a támadás végrehajtására utalhat.

<sup>12</sup> Dr. Hornyacsek Júlia: Polgári védelem 1. ZMNE Budapest: 2009. 13. o. ISBN: 978-963-70-60 66-3

Ilyen lehet például, hogy valaki szándékosan hátrahagyva a csomagját, sietve távozik a helyszínről, vagy gyanús, az adott területre nem jellemző mozgások figyelhetők meg, ismeretlen arcok tűnnek fel, esetleg a környezethez nem illő tárgyakra leszünk figyelmesek.

- **Vannak olyan terrorcselekmények, amelyek végrehajtása több terrorszervezet együttműködésével, vagy kölcsönös segítségnyújtásával valósul meg.** Különösen igaz ez azokra a támadásokra, amelyeknek nem a pusztítás és a rombolás a célja, hanem az államra való nyomásgyakorlás, vagy a tárgyalások során jobb pozíció elérése.
- **A terrortámadások előkészítésének felderítése, a végrehajtás megakadályozása katonai és titkosszolgálati módszerek alkalmazásával, vagy diplomáciai eszközök igénybevételével lehet sikeres, de gyakran fegyveres beavatkozásra, különleges erők bevetésére is szükség van.**

A technikai fejlődés alapvetően befolyásolja a terrortámadások sikerét.

### **A technikai fejlődés és a korszerű eszközök hatása a terrorcselekmények végrehajtásának módszereire és sikerére**

Néhány példán keresztül bemutatjuk, hogy a technikai fejlődés különböző területei hogyan befolyásolják a terrorista cselekmények végrehajtásának módszereit, továbbá melyek azok a korszerű eszközök, berendezések, amelyeket a terroristák előszeretettel használnak akcióik végrehajtása során.

- **A korszerű katonai és polgári robbanóanyagok**, amelyek biztonságosan szállíthatók, könnyen vágathatók, ráadásul szagtalanok is, így a repülőtéri keresőkutyák sem veszik észre. [8]
- **A korszerű elektronikai és híradó berendezéseket** a terroristák előszeretettel alkalmazzák és használják fel pokolgépes (IED) merényletek végrehajtására, a robbanószerkezetek időzített, vagy távirányítású felrobbantására.
- **A légiközlekedés fejlődésével** folyamatosan nőtt a géprobbantások, a gépeltérítések, valamint a repülőtéri létesítmények elleni támadások száma. A 2001. szeptember 11-e után bevezetett szigorú biztonsági intézkedések miatt a terroristák új, kevésbé védhető, „puha” célpontokat kerestek. Figyelmük a fejlődő közösségi közlekedés felé fordult és az utóbbi években egyre több támadást hajtott végre vasúti létesítmények, vonatok, metróvonalak és autóbuszok ellen.
- **A számítástechnika fejlődésével** és széleskörű alkalmazásával (elterjedésével), lehetőség nyílt arra, hogy a terrorista szervezetek a kormányzati intézmények, a nagyvállalatok információs rendszerének feltörésével vagy vírusok bejuttatásával óriási károkat tudnak okozni, valamint ilyen akciókkal az ún. „cyber-terroristák” fontos adatokhoz férhetnek hozzá vagy semmisíthetnek meg. Sokszor az is elég, ha ideiglenesen fennakadásokat okoznak a különböző híradó, informatika, vagy energiaellátó rendszerek működésében, ezeknek is beláthatatlan következményei lehetnek.
- **Az internet elterjedése**, „világhálóvá” történő fejlődése lehetőséget biztosít a terrorszervezetek kapcsolattartására és az új tagok toborzására is. Ezen túlmenően az internetet fel tudják használni tömegkommunikációs feladatok végrehajtására, üzenetek és információk továbbítására, a lakosság félelmének kialakítására, vagy fokozására. Az interneten megtalálhatók azok az információk és adatok, amelyek alapján házilag is elkészíthetők a terrorcselekmények végrehajtására alkalmas pokolgépek, robbanóanyagok és eszközök.

- A technikai fejlődéssel szoros összefüggésben van a média szerepének növekedése is. A terroristák igyekeznek kihasználni a „korszerű média” adta lehetőségeket, a mérenyletekről szinte mindig beszámol a nyomtatott és elektronikus sajtó, amely nem csak sokkolja, hanem félelmet is kelt az emberekben. Ráadásul a demokratikus országok közvéleménye egyre kevésbé tolerálja a sok (civil és katonai) áldozattal járó terrorcselekményeket, akkor is, ha azok nagy része az ellenségesnek tekintett ország állampolgárai közül kerül ki. Ez és az erről szóló tudósítások, szintén kedveznek a hátterületet biztosító országokban rejtőzködő terroristáknak.
- A műholdak, a korszerű híradó és helyzet-meghatározó (GPS) eszközök, berendezések lehetővé teszik a kiválasztott célterületekről pontos információk megszerzését, a különböző mozgások követését, megfigyelések végrehajtását, a megbízható kapcsolattartást, az információk titkosítását, stb., amelyek elengedhetetlenek egy terrorista akció titokban történő (rejtett) megszervezéséhez és sikeres végrehajtásához. Sok esetben a terroristák technikai hátrányát a helyi viszonyok jobb ismerete és a helyi társadalom támogatása ellensúlyozza. Ez az ún. „aszimmetrikus hadviselés”.
- A terroristák felismerték, hogy a magas technikai színvonalat képviselő, pontos és nagy pusztító-erejű fegyverek a városok utcáin, a lakóházakban megbújó terrorista sejték felszámolásában csak korlátozottan alkalmazhatók, amit tovább fokoz a helyi lakosság ellenállása. Az ilyen típusú korszerű fegyverekkel csak kevés terrorszervezet rendelkezik, melynek oka a magas beszerzési költség, a szigorodó fegyverkereskedelmi előírások és szabályok. A rendelkezésükre álló „precíziós” fegyvereket csak kiemelt célszemélyek, vagy olyan célpontok ellen vetik be, amelyek megsemmisítése fontos a céljaik elérése érdekében. Minden más esetben a könnyen hozzáférhető katonai robbanóanyagokat, lőszerket, házilag készített bombákat használnak.
- Nagy veszélyt rejthet magában, ha a terroristák vegyszeri, biológiai vagy nukleáris fegyverekhez jutnak. 2001 őszén óriási pánikot okozott az Egyesült Államokban a különböző hivatalokba lépfenével (anthrax-szal) fertőzött levelek küldése, eljuttatása. A nukleáris fegyverek esetén nem kell feltétlenül atombombákra gondolni, hisz ezeket nem könnyű sem előállítani, sem szállítani. A terroristák kezében nagy veszélyt jelentenek a „piszkos bombák” is. Ezek viszonylag kisméretű bombák, amelyek nem is elsősorban a robbanással okoznak károkat, hanem az annak során szétterjedő sugárzó, radioaktív anyagokkal.

A terrorcselekmények célpontjait nehéz behatárolni. Általában a könnyen sebezhető, kevésbé védett, vagy védhető létesítményeket támadják meg. Gyakran olyan célpontokat választanak, amelyeket a szimbolikája miatt rombolnak le. Ha félelemkeltést akarnak elérni, sok ember által látogatott épületeket, épületegyütteseket jelölnek ki célpontnak. Ezért, a védelmi szakemberek nehezen tudják pontosan meghatározni a terrortámadások célobjektumit, legfeljebb csak azok körét, amelyek számításba jöhetnek.

**A terroristák által legjobban veszélyeztetett helyszínek és objektumok** az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- katonai, kormányzati, objektumok, épületek;
- nemzetközi külképviseletek

- közlekedési csomópontok, műtárgyak, (hidak, alagutak, felüljárók, stb.)
- tömegközlekedési létesítmények, eszközök (vasúti és buszpályaudvarok, vonatok, autóbuszok, metró, stb.);
- katonai és polgári repülőterek, repülőgépek, valamint a repülésbiztonsági és irányítási rendszerek;
- energetikai ellátórendszerek, azok létesítményei, irányítási központjai;
- az alapvető életfeltételek biztosításához szükséges vízellátórendszerek, élelmiszerraktárak, azok létesítményei és elosztó központjai;
- nagy létszámú és sűrűn látogatott polgári létesítmények (stadionok, bevásárló központok, színházak, kulturális központok, stb.);
- egy ország történelmi múltját, állami, vagy vallási szimbólumát jelképező épületek, műemlékek, stb.

A különböző terroriszervezetek eddigi tevékenységét vizsgálva megállapítható, hogy a támadásokhoz célirányosan kiválasztott eszközök és módszerek mellett nagyon fontos szerepe van a célpontok körültekintő megválasztásának is. Egy terület függetlenségéért küzdő szervezet számára fontos, hogy az ott élők rokonszenvét is megnyerjék, ezért a terrorcselekményeket úgy hajtják végre, hogy a polgári áldozatok száma alacsony maradjon. Sok szakértő azt állítja, hogy az új típusú terroriszervezetek számára nem fontos az, hogy egy akció mekkora pusztítással jár.<sup>13</sup> A 2. képen a lakosságot sokkoló támadás látható.



2. kép A polgári lakosságot sem kímélő terroristarobbantás Afganisztánban.<sup>14</sup>

A globalizáció miatt a terrorfenyegetettség nem csökkent, sőt tovább nőtt. Különösen nagy a merényletek veszélye azokban a térségekben, ahol:

- az elmúlt években terrorista szervezeteket lepleztek le;
- polgárháborús állapotok voltak, esetleg ma is vannak;
- katonai műveletek folynak;
- továbbá a terroristák a helyi lakosság támogatását élvezik.

<sup>13</sup> Ezért tartják különösen veszélyesnek azt, ha ezek a szervezetek esetleg nukleáris, biológiai vagy vegyi fegyverhez juthatnak.

<sup>14</sup> Forrás: <http://lakosság.katasztrofavedelem.hu/?pageid=93&content=1>, Letöltés ideje: 2012.02.13.



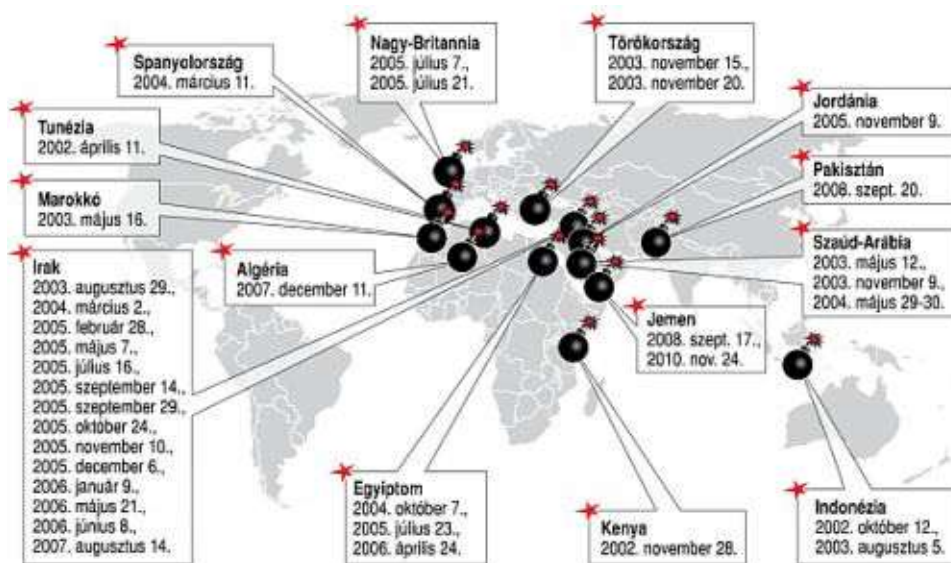
A veszély azonban természetesen másutt sem zárható ki, ideértve Törökországot, az Amerikai Egyesült Államokat és az Európai Unió, illetve az Európai Gazdasági Térség tagállamait is. [9]

## Napjaink kiemelkedő terrorcselekményei

A terrorizmus szakértői egyetértenek abban, hogy a terrorszervezetek – a sejtyszerű felépítésük miatt – működőképesek maradnak akkor is, ha a legfőbb vezetőiket elfogják, vagy likvidálják. Az al-Kaida sem omlott össze, sőt újra megerősödött, a tálibokkal való együttműködésük új erőre kapott. Az utóbbi években az al-Kaida számlájára merényletek sokasága írható. Ezek közül a legjelentősebbek az alábbiak:

- 2002 októberében a Bali szigetén elkövetett robbantás;
- egy izraeli tulajdonban lévő kenyai szálloda felrobbantása 2002 novemberében;
- 2003 májusában a Szaúd-Arábiában elkövetett terrorcselekmény, majd néhány nappal később a 33 halálos áldozatot követelő casablancai merénylet;
- a bagdadi ENSZ-képviselő felrobbantása 2003 augusztusában;
- az isztambuli merényletek 2003 novemberében,
- a madridi vonatrobantások 2004 márciusában;
- a londoni metró elleni támadások 2005 júliusában, stb.

Az al-Kaida támadásainak helyszínei és időpontjai a **2. ábrán** láthatók.



2. ábra Az al-Kaidának tulajdonított főbb merényletek 2011. szeptember 11. óta.<sup>15</sup>

Az al-Kaida akcióinak legfontosabb színhelye Irak és Afganisztán, de a fenti felsorolásból is látható, hogy a merényletek nem korlátozódnak csak erre a földrajzi területre, más, európai, ázsiai és arab országokban is hajtanak végre akciókat.

Egész Európát megrázta a 2004. március 11-i madridi detonációk sorozata. *Ez volt az első alkalom, hogy az al-Kaida terrorszervezet lecsapott a kontinensen.* Napról-napra újabb lelep-

<sup>15</sup> Forrás: [http://www.sg.hu/cikkek/84433/dollarmilliardokban\\_merhet\\_337\\_a\\_biztonsag](http://www.sg.hu/cikkek/84433/dollarmilliardokban_merhet_337_a_biztonsag), Letöltés ideje: 2012.02.27.

lezések láttak napvilágot a 191 ember életét kioltó vonatrobbanásokkal kapcsolatosan. 25 gyanúsítottat vettek őrizetbe. A merényletsorozat elkövetésében részt vett terroristák egy része már halott volt, heten felrobbantották magukat, amikor a rendőrség rajtaütött rejtékhelyükön, (április 3-án). A madridi vonatrobbanás pusztítása és áldozatai a **3. képen** látható.



3. kép<sup>16</sup>



3. ábra.17

Alig több mint egy évvel a madridi merénylet után, 2005. július 7-én, hajtották végre a londoni metró elleni terrortámadást. Az akciót kiválóan előkészítették, a végrehajtás szervezeten, szinte egy időben, a reggeli csúcsforgalom idején, 8:51 és 9:47 között hajtották végre. A támadásban 37-en haltak meg. A londoni terrortámadás helyszínei **3. ábrán** láthatók. [11]

A 2011-es év is bővelkedett terrorcselekményekben. Ezek közül csak a legjelentősebbeket emeljük ki. [12]

- 2011 első napján Egyiptomban hajtottak végre támadást egy alexandriai kopt kereszténytemplom ellen. Az öngyilkos merényletnek 25 halálos áldozata volt.
- Januárban, Oroszországban a domogyedovói repülőtéren elkövetett merényletben 36-an haltak meg és száznál is többen sebesült volt;
- Március 14-én az afganisztáni Kunduz városban egy toborzóiroda ellen hajtottak végre súlyos öngyilkos merényletet. A támadásban 37-en haltak meg;
- Március 28-án 150 ember, köztük sok gyerek halt meg, amikor iszlamista szélsőségesek támadtak meg egy lőszergyárat a dél-jemeni Dzsaar városában, ami után robbanások sorozata következett be,
- Fehéroroszországban április 11-én 14 ember halt meg, és kétszázán megsebesültek, amikor a minszki metróban távirányítású bomba robbant fel;
- Az egész világon megdöbbenést okozott, amikor július 22-én 77 embert ölt meg Norvégiában egy szélsőjobb oldali férfi. Anders Behring Breivik Oslo központjában a kormányzati negyedben robbantott fel egy bombát, majd a közelben, Utoya szigetén a kormányzópart ifjúsági szekciójának táborában rendezett vérengzést;
- Szomáliában az iszlamista milícia október 04-én egy fővárosi kormányzati épület előtt

<sup>16</sup> Forrás: [http://www.titoktan.hu/\\_raktar/\\_e\\_vilagi\\_gondolatok/Terrorizmus-Biztonsaga.htm](http://www.titoktan.hu/_raktar/_e_vilagi_gondolatok/Terrorizmus-Biztonsaga.htm), Letöltés ideje: 2012.03.03.

<sup>17</sup> Forrás: [http://www.titoktan.hu/\\_raktar/\\_e\\_vilagi\\_gondolatok/Terrorizmus-Biztonsaga.htm](http://www.titoktan.hu/_raktar/_e_vilagi_gondolatok/Terrorizmus-Biztonsaga.htm), Letöltés ideje: 2012.03.03.

robbantott fel egy robbanóanyaggal megrakott teherautót. A merényletben 140 ember halt meg;

- Nigériában legalább 150 ember halt meg november 04-én, amikor az iszlamista szélsőségesek öngyilkos merényletek sorát hajtották végre rendőrörsök, laktanyák, templomok és lakónegyedek ellen;

A **4. képen** robbantásos merénylet látható egy afgán vallási szertartáson, az **5. kép** pedig az oslói robbantás pusztításait mutatja.



4. kép18



5. kép19

A 2001. szeptember 11-i terrortámadás tízéves évfordulójára készült elemzések egyértelműen megállapítják, hogy ha valami igazán megváltozott a terrortámadás óta, – nemcsak az USA-ban, hanem szerte a világon – az a **biztonságérzet**.

A madridi és a londoni merényletek az európaiak számára is nyilvánvalóvá tették, hogy a globális terrorizmus nem csak az Egyesült Államokat veszélyezteti. Az EU azonban nem akar, és közös haderő híján nem is tud háborút indítani. Így, az Unión belül sokkal fontosabb például, hogy a tagállamok egységesítsék, hogy milyen bűncselekményt tekintenek terrorizmusnak, hangolják össze a védekezéssel kapcsolatos jogszabályokat, a védekezési eljárásokat és módszereket, a felderítő tevékenységet, a kölcsönös információcserét, valamint a terrorista szervezetek anyagi forrásainak felszámolását. [10]

## A REPÜLÉS BIZTONSÁGÁNAK, A REPÜLŐTEREK ROBBANTÁSOS TERRORCSELEKMÉNYEK ELLENI VÉDELMEINEK ELVEI, NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Európa elkötelezte magát a polgári jogok és a nyitott határok mellett, ami kiszolgáltatottabbá teszi a terrorcselekményekkel szemben, mivel korlátozza a kormányok hatalmát az emberek mozgásának felügyeletében, ami növeli a terrorcselekmények lehetőségét és a felderítés eredményességét. Véleményünk szerint napjaikban és a közeli jövőben is számolni kell terrorcselekményekkel, mert a korszerű technikai eszközök, robbanóanyagok könnyen elérhetők, beszerezhetők, valamint ezek felhasználásával a robbanószerkezetek egyszerűen, olcsón előállíthatók és kivitelezhetők. Éppen

<sup>18</sup> Forrás: [http://fngaleria.hir24.hu/3/50594/A\\_2012-es\\_World\\_Press\\_Photo\\_dijazottjai](http://fngaleria.hir24.hu/3/50594/A_2012-es_World_Press_Photo_dijazottjai), Letöltés ideje: 2012.03.03.

<sup>19</sup> Forrás: <http://www.hir24.hu/kulfold/2011/07/22/robbanas-osloban/> Letöltés ideje: 2012.03.03.

ezért, úgy kell a védekezés elveit, módszereit és eszközeit megválasztani, hogy ezek összehangolt, célszerű felhasználásával eredményes és hatékony védekezés valósuljon meg.

## **A repülés biztonságának értelmezése, a repülésbiztonsági tényezők csoportosítása**

A 2001. szeptember 11-i terrortámadás rémületos példája annak, hogyan lehet kereskedelmi repülőgépek eltérítésével, azokat cirkáló rakétaként alkalmazva, terrorista célokra felhasználni. A repülésbiztonság addig is fontos kérdés volt, de ezzel a támadással szerepe felértékelődött, fontos kérdéssé lépett elő. Napjainkban egyetlen állam sem működtetheti repülőeszközeit – legyen azok felhasználása polgári vagy katonai célú – a kor követelményeinek megfelelő repülésbiztonsági feltételek és garanciák kialakítása nélkül. A repülés területén a biztonságot komplexen kell értelmezni, nem célszerű azt csak a repülőgépek biztonságos közlekedésére leszűkíteni. A **„repülésbiztonság” fogalmára** nehéz egyértelmű és pontos definíciót adni, ezért annak összetettségét csak egy átfogó meghatározással lehet kifejezni. Erre tett kísérletet Németh József az alábbiak szerint: [13]

*„A repülésbiztonság elsősorban olyan állami és nemzetközi készségek és képességek rendszere, amely a repülés kapcsán felmerülő veszélyhelyzetekre, kihívásokra képes hatékony válaszokat adni.”<sup>20</sup>*

A repülés biztonságának összetettségét kutatva megállapítható, hogy azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják azt, alapvetően három csoportba sorolhatjuk. Ezek a következők: [14]

- **Objektív tényezők:** Idesorolunk minden olyan körülményt, mely a repülés biztonságát közvetve, vagy közvetlenül, emberi tevékenységtől függetlenül befolyásolja. Ezek közé alapvetően két tényező-csoport sorolható: **a repülőtechnika** és **a repülési környezet**, vagyis az a fizikai közeg, melyben a repülés végbemegy. Az objektív tényezők közé később a repülési infrastruktúra fejlődésével olyan elemek zárkóztak fel, mint **a repülőterek minősége, felszereltsége, műszerparkja**. *Az objektív tényezők jellemzője, hogy aránylag lassan változnak, így egy adott időszakban állandónak tekinthetők.*
- **Szubjektív tényezők:** Ez a csoport az **emberi tényezőket** foglalja magába. Emberi tényezőkön mindazon egyéni és szervezeti jellemzők és hatások összességét értjük, amelyek a repülésbiztonság alakulására közvetlen hatással lehetnek. *Közös jellemzőjük az aktivitás és a gyors változás képessége.* A repülőgép tervezéstől a repülés végrehajtásáig, a repülés egyetlen területe sem nélkülözheti az emberi megfontolást és tevékenységet. Az emberi tényező át, meg átszövi a repülés egészét, éppen ezért van döntő szerepe a repülésbiztonságban. Manapság egyre inkább ebbe a tényező-csoportba sorolják a **repülőtechnika tervezőit**, sőt még a **repülési szabályok megalkotóit** is. A modern kutatások nyomán az emberi tényező egyre átfogóbban jelenik meg. Míg azelőtt csupán az emberi tényező kapcsán a pilóta hibáira koncentráltak, addig ma az emberi

<sup>20</sup> Németh József: A repülésbiztonság, mint stratégiai kérdés.

Forrás: <http://www.biztonsagpolitika.hu/userfiles/file/PDF/repstrat.pdf> Letöltés ideje: 2012.03.10.

tényező köre már kiterjed a **földi személyzetre**, a **karbantartókra** és a **repülésirányítókra** is. Mindezek mellett, ide sorolhatjuk a **repülési szabályokat**, és a **repüléstudomány fejlettségét**, melyek alapjaiban adják meg a repülés kereteit, vagyis tágabb értelemben a repülési környezetet jelentik.

- **Rejtett tényezők:** A veszélytényezők harmadik csoportjába azok a repülést veszélyeztető körülmények és jelenségek tartoznak, melyek **nehezen azonosíthatók**, vagy **nem jelezhetők előre**. Amikor a tényezők összejátszása során nem állapítható meg pontosan és tisztán, mely tényező-csoportban keresendők egy repülőesemény okai, akkor azonosítatlan, vagy rejtett veszélyként jelenik meg a kockázatkezelés folyamatában. Mivel nem minden repülőeseményből nyerhető egyértelmű információ az okokra vonatkozóan, valamint nem minden repülőeseményre derül fény, ezért a rejtett veszélyek tartománya sajnos igen jelentős.

A repülés veszélyei akaratunktól függetlenül jelen vannak és a repülés fejlődésével folyamatosan változnak, átalakulnak. Ez nem azt jelenti, hogy mindig új és ismeretlen kihívásokkal nézünk szembe, előfordulhat, hogy csak a veszélytényezők közötti hangsúly tevődik át egyik tényező-csoportról a másikra. Ezért a repülésbiztonsági kockázat pontos megítélése és időbeni kezelése elsőrendű feladat, melynek első lépése a veszély felismerése. Veszélyként jelentkezhet bármilyen olyan tényező vagy körülmény, mely repülőesemény bekövetkezéséhez vezethet. „A repülés történelme során több olyan esettel is találkozunk például, amelyet szándékos, ártó emberi cselekvés idézett elő”<sup>21</sup>. [23] A **6. képen** rakétatámadás utáni, sugárfékekkel történő sikeres kényszerleszállás látható, a **7. kép** a hajtómű sérüléseit mutatja.<sup>22</sup>



6. kép



7. kép

A repülés biztonsága csak akkor garantálható, ha a repülésre leselkedő veszélyeket felismerik és számolnak velük, vagyis figyelembe veszik azt a kockázatot, amit az említett veszélyek magukban hordoznak. Napjainkban a repülésbiztonság rejtett tényezői között kiemelt helyet foglal el a **terrorizmus**.

<sup>21</sup> Dr. Hornyacsek Júlia: A repülőterek környezetében lévő települések katasztrófavédelmi feladatai, Repüléstudományi Közlemények On-line Tudományos Folyóirat, ZMNE, 2011/2 különszám, 2011. április, 17. oldal ISSN: 1789-770X Letöltés ideje: 2012.03.10.

<sup>22</sup> A 7–8. képek forrása: <http://iho.hu/hir/vallrol-indithato-fenyegetes-a-polgari-legi-kozlekedes-ellen-1109>, Márványi Péter: Vállról indítható fenyegetés a polgári légi közlekedés ellen. Letöltés ideje: 2012.03.10.



A repülés területén is fel kell készülni a különböző terrortámadások elhárítására, a megfelelő védelmi szintek kialakítására. Ehhez viszont pontosan ismerni kell a támadások lehetséges formáit, módszereit, valamint azokat a célpontokat, amelyek sérülése komoly működési zavarokat okozhatnak, vagy félelmet kelthetnek a repülés és a légitözlekedés iránt.

### **A repülés területén a robbantásos terrorcselekmények lehetséges célpontjai, a kiválasztás szempontjai, a katonai és a polgári célok sajátosságai**

Ha a repülés biztonságát egy lehetséges terrortámadás szemszögéből vizsgáljuk, megállapítható, hogy a biztonságot befolyásoló tényezők közül célpontként csak egy néhány jöhet szóba. Elsősorban azok, amelyek komoly károkat okoznak, elrettentő ereje van a társadalom felé, vagy nagymértékben csökkenti a repülés iránti bizalmat.

#### ***A lehetséges célpontok kiválasztásának szempontjai:***

- legyen könnyen megközelíthető és hozzáférhető;
- a célok rombolása ne igényeljen különleges szaktudást, valamint speciális eszközöket, berendezéseket;
- a kiválasztott célok ne rendelkezzenek hatékony ellenőrzési pontokkal, korszerű feldehárító és átvilágító eszközökkel, az elkövetők könnyen bejussanak és elhagyhassák a területet, valamint a célobjektumba zavartalanul bejuttathassák az akcióhoz szükséges eszközöket, berendezéseket;
- a kiválasztott célpontok elleni terrortámadások legyenek könnyen végrehajthatók, ne igényeljenek bonyolult tervezést, szervezést és konspirációt, sok közreműködőt;
- a célpontok elleni támadás legyen olcsó, hatékonyan lehessen alkalmazni a könnyen beszerezhető katonai eszközöket, robbanóanyagokat, vagy a házilag elkészíthető robbanószerkezeteket;
- a kiválasztott célpontok ne rendelkezzenek erős külső fizikai védelemmel, (kerítések, figyelő- és jelzőrendszerek, mozgást akadályozó berendezések, stb.), hogy a merénylethez szükséges robbanóanyagok és eszközök könnyen bejuttathatók és elhelyezhetőek legyenek.

A terület kutatása során megállapítottuk, hogy az eddig végrehajtott terrorcselekmények legtöbb esetben a repülőgépek ellen irányultak és csak kisebb számú támadás érte a repülőterek épületeit, létesítményeit, működési és biztonsági rendszereit. Ennek részben az az oka, hogy a repülőterek létesítményeinek támadása komoly előkészítést, nagy szakértelmet, pontos információt igényelnek. A repülőterek kialakítása és nagy területi elhelyezkedése miatt az akció kivitelezése költséges, és a várt eredmény gyakran elmarad, a támadás nem éri el a kitűzött célt.

#### ***A robbantásos terrorcselekmények lehetséges célpontjainak csoportosítása***

A fentiek figyelembe vételével, egy robbantásos terrortámadás esetén a repüléssel összefüggésben a lehetséges célpontoknak alapvetően két nagy csoportját különböztethetjük meg. A támadások irányulhatnak:

- közvetlenül a repülőgépek ellen, amelyek legjobban fel és leszállás közben sebezhetőek;
- valamint a repülőterek, esetleg annak egyes épületei, létesítményei, vagy energia, közmű és biztonsági rendszerei ellen.

Mielőtt rátérnénk a repülőtereken belül a lehetséges célpontok ismertetésére, vizsgáljuk meg a repülőterek kialakításának legfontosabb jellemzőit.

A *repülőtér* olyan sík terület, amely biztosítani tudja a repülőgépek biztonságos üzemeltetéséhez szükséges legalapvetőbb szolgáltatásokat. Legfontosabb eleme a *felszállópálya*, amely biztosítja a repülőgépek le- és felszállásához szükséges akadálymentes utat. Területén találhatóak még olyan építmények is, mint a *raktározási, karbantartási célokra épített hangárok*, valamint az ezeket a felszállópályával összekötő guruló utak. Fontos része továbbá, a légiközlekedés biztonságát szolgáló *irányítótorny*, az utasforgalom zavartalanágát biztosító *utasforgalmi épületek*, valamint egyéb, mérő és irányító eszközök, műtárgyak (rádiólokátorok, jelzőfények, meteorológiai eszközök, stb.). [15]



8. kép Légi felvétel a Madrid-Barajas repülőtér kialakításáról és méretéről.<sup>23</sup>

A repülőtéri létesítmények mindegyike célpontja lehet egy terrortámadásnak. Ezek közül a legfontosabbak az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- *a repülésirányítás létesítményei, híradó, informatikai és kommunikációs rendszerei, berendezései;*
- *a repülőgépek biztonságos fel- és leszállásához szükséges fény és jelzőrendszerek, berendezések, valamint azok létesítményei;*
- *a felszállópályák, a guruló utak, a repülőgépek feladatra történő felkészítés helyei, a hozzátartozó kiszolgáló berendezésekkel, eszközökkel;*
- *a repülőterek hangárai, raktárai, szociális, kiszolgáló és az utasforgalmat megvalósító épületei, létesítményei, a biztonságot megvalósító és növelő építmények, (kerítések, ellenőrző pontok, jelző és figyelőrendszerek, stb.);*
- *a repülőterek víz, gáz, üzemanyag és villamos energiaellátását biztosító rendszerek, azok létesítményei, kútjai, ciszternái és berendezései;*
- *a repülőgépek tárolásának helyei, (állóhelyek), valamint a gépek üzemeltetését, működőképességét biztosító javítóbázisok, létesítmények, berendezések, stb.*

A robbantásos terrorcselekmények célpontjainak kiválasztása során különbséget kell tenni a katonai és a polgári repülőgépek, repülőterek között.

<sup>23</sup> Forrás: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Madrid-Barajasi\\_rep%C3%BC1%C5%91t%C3%A9r](http://hu.wikipedia.org/wiki/Madrid-Barajasi_rep%C3%BC1%C5%91t%C3%A9r) Letöltés ideje: 2012.03.10.



A katonai repülőgépek és repülőterek, mint célobjektumok sajátosságai:

- a katonai repülőgépek korszerű védelmi berendezésekkel vannak ellátva, kismagasságban is képesek nagy sebességgel repülni, továbbá olyan támadó fegyverekkel vannak felszerelve, melyekkel képesek a terrortámadást elhárítani, az elkövetőket megsemmisíteni;
- az állandó és a hadműveleti területen lévő repülőterek a lakott területektől távol, alacsony laksűrűségű környezetben kerülnek kialakításra, őrzésük és védelmük jól szervezett, területükre idegeneknek nehéz bejutni;
- a repülőtéren dolgozók kiválasztása szigorú előírások alapján történik, alapvetően megbízhatóak, a dolgozók védelmi kiképzettsége és felkészültsége jó, ismerik a terrortámadások sajátosságait, az ezzel kapcsolatos óvintézkedéseket. hadműveleti területeken ez csak korlátozottan igaz, a kíségető személyzet biztonsági ellenőrzése nem minden esetben megbízható;
- a fegyveres terrorakciók esetén megfelelő védelmi képességekkel rendelkeznek, azokat eredményesen képesek elhárítani, de hadműveleti repülőtereken a belső támadások és szabotázsakciók kiszámíthatatlanok, ezek ellen nehéz védekezni;
- a terrortámadáshoz szükséges robbanóanyagok és eszközök a hadműveleti területen könnyen beszerezhetők, bejuttatása az objektumba, valamint elhelyezése a kiválasztott célpontoknál a helyi lakosság felhasználásával viszonylag könnyen kivitelezhetők.

A polgári repülőgépek és repülőterek, mint célobjektumok sajátosságai:

- a polgári repülőgépek nagy méretük kis repülési sebességük miatt könnyen sebezhetőek, valamint az eltérő színvonalú ellenőrzések miatt a gépek fedélzetére és a rakterébe könnyű veszélyes robbanóanyagokat és szerkezeteket feljuttatni. az utasai közül nem lehet minden esetben kiszűrni az ártó szándékúakat, vagy a felkészült terroristákat, akik képesek a gép katasztrófáját okozni robbanóanyagok nélkül is;
- a polgári repülőgépek nagymennyiségű éghető anyagokat tartalmaznak, ezért könnyen megsemmisíthetők, vagy magát a repülőgépet használják fel más célobjektumok megsemmisítésére<sup>24</sup>;
- a polgári repülőgépek nem mindig rendelkeznek korszerű védelmi eszközökkel, berendezésekkel, ezért a rakéták és más fegyveres támadásokkal szemben gyakran védtelenek;
- a repülőgépek ismételt feladatra (repülésre) történő felkészítése gyakran más országokban (külföldön) történik, az ottani kiszolgáló személyzet közreműködésével, így viszonylag könnyen elhelyezhetők a repülőgépek rejtett pontjain robbanószerkezetek;
- a polgári repülőterek általában a lakott területekhez közel helyezkednek el, gyakran előfordul, hogy közvetlenül nagy laksűrűségű környezetben működnek, ezért a végrehajtott terrortámadások, vagy lakott területre zuhant repülőgépek fokozzák a pusztító hatást, növelik a lakosság megfélemlítését;
- a polgári repülőterek nagy méretei miatt annak teljes körű zárása, (bekerítése) riasztó és jelzőrendszerek kiépítése, ezáltal annak őrzés-védelme is nehezen oldható meg,

<sup>24</sup> Ez történt 2001. szeptember 11-i terrortámadás esetén, amikor utasszállító repülőgépeket térítették el, azokkal más terrorista célpontokat robbantottak le.



ezért az illetéktelenek könnyen bejutnak a repülőtér területére;

- a nagy utasforgalom, valamint a terület őrzésének hiányosságai miatt, a támadáshoz szükséges robbanóanyagok, eszközök eljuttatása és elhelyezése a kiválasztott célpontoknál viszonylag könnyű, kicsi a lebukás veszélye;
- annak ellenére, hogy a repülőterek dolgozóinak kiválasztása megfelelő előírások és szempontok alapján történik, a nagy fluktuáció miatt előfordul, hogy ártó szándékú, vagy megbízhatatlan személyeket is felvesznek;
- a dolgozóknak csak egy szűk köre kap megfelelő védelemi kiképzést és felkészítést, nem mindenki ismeri a terrortámadások sajátosságait, az ezzel kapcsolatos óvintézkedéseket;
- a repülőterek közmű és energia rendszereinek nagyméretű kiterjedése miatt könnyen sebezhető, már kisméretű rombolással is komoly károk okozhatók, valamint megfelelően kiképzett terroristák, precíziós katonai fegyverekkel, már nagy távolságból is képesek a repülőtéri objektumokat, létesítményeket megsemmisíteni;
- az utasforgalmi épületek nyilvános helységeiben kis erejű robbantással is nagyfokú pánik érhető el, amely súlyos katasztrófához vezethet.

Napjainkban a terroristák egyre kifinomultabb módszerekkel hajtják végre a terrorcselekményeket és ezek felderítéséhez, elhárításához is hasonlóan korszerű eszközök, védelmi eljárások szükségesek.

#### ***A repülés területén a robbantásos terrorcselekmények végrehajtásának formái, a védekezés alapvető módszerei***

Egy terrorcselekmény elkövetésének formáját és módját sok tényező befolyásolja, nem csak a megvalósítandó célok, a rendelkezésre álló humán és anyagi erőforrások, hanem a kiválasztott ország társadalmi és politikai viszonyai is.

#### ***A robbantásos terrorcselekmények végrehajtási formáit befolyásoló tényezők az alábbiak:***

- az akció során a pusztítás, vagy az elrettentés prioritásának és mértékének eldöntése, meghatározása, (csak a célobjektum rombolódjon, az akció nagy vagy kicsi anyagi kárt okozzon, sok, vagy kevés polgári áldozat legyen, stb.);
- az elérendő célhoz kiválasztott célobjektum környezete, műszaki tulajdonságai, paraméterei, (megközelíthetőség, védelmi szint, méret, statikai állékonyság, stb.);
- a rendelkezésre álló fegyverek, robbanóanyagok fajtái, azok alkalmazhatóságának feltételei;
- az elkövetők kiképzettsége, felkészültsége, elszántsága;
- a célország terrorizmus elleni harcának és védelmi képességének szintje;
- a terroristák céljainak, akcióinak társadalmi elfogadottsága, a lakosság szimpátiája, támogatása, stb.

A terrorista csoportok romboló képessége folyamatosan nő, ahogy a terroristák is egyre jártasabbak a modern technológiák saját céljaikra való felhasználásában. Az Internet segítségével fejlett és sokoldalú kommunikációs technikákat kidolgoztak ki és nagy jártasságot szereztek a robbanóeszközök készítése és alkalmazása területén is. Ebből következik, hogy a repülés területén végrehajtható robbantásos terrorcselekményeket a végrehajtók sokféle formában és módon képesek és tudják megvalósítani.

### ***A robbantásos terrorcselekmények végrehajtási formáinak csoportosítása:***

- **az elkövetés módja szerint** megkülönböztetünk öngyilkos merénylők által elkövetett, valamint a végrehajtókat nem veszélyeztető, egy vagy több személy által kivitelezett akciókat;
- **a célterületre, vagy célobjektumba történő bejutás módja szerint** megkülönböztetünk erőszakos, (támadó, fegyveres), vagy rejtett, titokban történő behatolási formákat;
- **a felhasznált robbanóanyagok fajtái szerint** megkülönböztetünk katonai fegyverekkel, robbanóanyagokkal, házilag készített pokolgépekkel, valamint korszerű pusztító (nukleáris, biológiai, vegyi) eszközökkel végrehajtott támadásokat;
- **a robbanóanyagok célterületre, célobjektumba történő bejuttatása szerint**, amely történhet közvetlenül a terroristák által, vagy más „gyanú feletti álló személyek” bevonásával, továbbá polgári kézbesítő, szállító cégek, szolgáltatások közreműködésével;
- **a robbanószerkezetek működtetése, aktivizálása szerint**, amely történhet a merénylők által közvetlenül működtetve, késleltetett formában időzítve, vagy távírányítással.
- **a célobjektumok elleni támadások történhetnek** közvetlen közletről, vagy kis távolságból, kézi fegyverekkel, robbanó eszközökkel, valamint nagy távolságokból, precíziós fegyverekkel, rakétákkal, stb.

Az akciók kiszámíthatatlansága, összetettsége, rejtettsége, eltérő védekezési formákat és módszereket igényelnek, annak ellenére, hogy ezeknek vannak közös elemei, területei. A cikk terjedelme nem teszi lehetővé, hogy a védekezés összes módszerét bemutassuk, ezért az alábbiakban csak néhány példát ismertetünk.

### ***A robbantásos terrorcselekmények elleni védekezés alapvető módszerei***

Kezdetben a támadások célpontjai a **repülőgépek** voltak, géprablások és kéveltérítések formájában valósultak meg. Később a gépekre feljuttatott robbanóeszközökkel már a gépek megsemmisítését is végrehajtották. Napjainkban robbanóeszközként használják a gépeket más objektumok megsemmisítése céljából. Az ilyen jellegű terrortámadások ellen a legjobb védelem a felderítés fejlesztése, valamint az elkövetők és a robbanóanyagok, eszközök kiszűrése. Nehezebb a védekezés a repülőgépek elleni külső rakéta, vagy fegyveres támadások esetén. Ezek felderítése nehéz, gyakran csak technikai védelemmel csökkenthetők a repülőgépek veszélyeztetettsége, alapvető védelmük biztosítása.

A terroristák eddig többnyire a hadműveleti területen lévő katonai **repülőterek** ellen indítottak támadásokat. Ezek elhárítására a leghatékonyabb védelem az elrettentő katonai védelmi képesség kialakításával, a szükséges védelmi létesítmények megépítésével, az őrzés-védelem szigorításával, a felderítés fokozásával, esetleg ezek kombinációjával érhető el. Más a helyzet a polgári repülőterek esetén. A nagy utasforgalom miatt nehezebben, viszonylag magas költségekkel valósíthatók meg a szigorú beléptetési és „utasbiztonsági” ellenőrző rendszerek, amelyek alapjai az illetéktelenek és terrorista személyek kiszűrésének, valamint a robbanóanyagok, szerkezetek felderítésének. Az eddigi támadások elsősorban az utasforgalmat ellátó és lebonyolító létesítmények ellen irányultak, amelyek védelme a könnyű bejutás és a nagy kiterjedés miatt nehezen valósítható meg. A biztonság növelhető a gyakoribb élőerős ellenőrzéssel, „mozgáskövető” elektronikus és videó rendszerek kiépítésével. Illetéktelen, gépjármű-

vel történő erőszakos behatolás ellen nagyon jól, eredményesen alkalmazhatók a különböző mozgást akadályozó berendezések. Előfordulhat, hogy a terroristák egy kisebb erejű robbantással olyan pánikot keltsenek, amely egy lehetséges tömegkatasztrófát okoz. Ez ellen a legjobb védekezés a robbantásra alkalmas helységek fokozott ellenőrzése, esetleg a robbantás hatásait csökkentő műszaki megoldások alkalmazása, valamint a pánik kezelésével kapcsolatban a dolgozók ismereteinek, kiképzési és felkészítési színvonalának emelése.

Úgy a repülőterek, mint a repülőgépek terrorcselekmények elleni védelmében fontos szerepe van az összehangolt és átfogó nemzetközi, valamint hazai jogi szabályozásnak, műszaki előírásoknak és követelményeknek. Ezek teszik lehetővé a terrorizmus elleni egységes fellépést, a különböző országok védelmi követelményeinek egységesítését, valamint az elkövetők szigorú felelősségre vonását, továbbá a lehetséges elkövetők visszatartását, esetleges elrettentését.

A továbbiakban bemutatunk néhány példát a repülőgépek és a repülőterek robbantásos terrorcselekmények elleni védelmére.

### Repülőgépek rakétatámadások elleni védelme

A katonai és a kereskedelmi repülőgépek fenyegetettsége jelentősen megnőtt, mióta a terroristák a fegyverkereskedelem feketepiacán könnyen hozzájuthatnak a vállról indítható föld-levegő rakétákhoz. A legelterjedtebbek a vállról indítható, hőkövető, SA-7b típus, melynek többféle változata létezik. Vannak infravörös hőfejűvel felszereltek, amelyek megkeresik a repülőgép legforróbb pontját, rendszerint a hajtóműveket, de léteznek olyanok is, melyeket a használója optikai úton, vizuálisan, vagy rádión keresztül vezérel a cél felé. Van egy harmadik verziója, amely lézersugár segítségével vezethető a célra.

A **9. képen** egy támadás után sérülés látható. A DHL A300 típusú repülőgép szárnya kapott találatot Bagdad repülőtere fölött. A **10. képen** pedig azok láthatók, akik büszkén használják ártatlan civil gépek ellen is a légvédelmi eszközöket.<sup>25</sup>



9. kép



10. kép

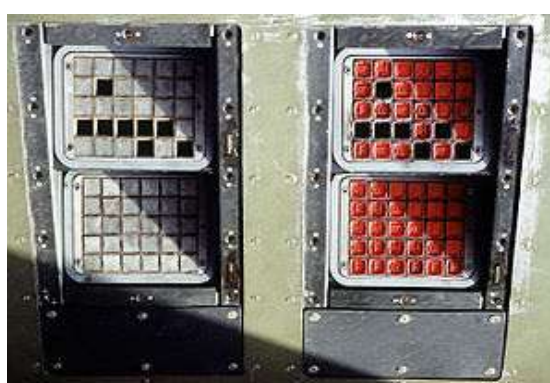
A vállról indítható rakéták ellen a leghatékonyabb védelem az infracsapdákkal valószínűsíthető meg. Ezek elsősorban a katonai repülőeszközök önvédelmi eszközei, mellyel megtéveszthetik a felé-

<sup>25</sup> A 10. és a 11. képek forrása: <http://iho.hu/hir/vallrol-indithato-fenyegetes-a-polgari-legi-kozlekedes-ellen-1109>, Letöltés ideje: 2012.03.10.

jük közeledő rakétákat. Veszélyhelyzetben, a rakéta közeledésének érzékelésekor, egyszerre lőnek ki több csapdát, miközben a repülőgép kitérő manővert végez. Olyan esetekben, amikor a repülőgép kiszolgáltatott helyzetben van (pl. fel- vagy leszálláskor) folyamatosan, sorozatban indítják az infracsapdákat. A korszerű infravörös irányítórendszerek már képesek megkülönböztetni az infracsapda által kibocsátott sugárzást a repülőgépek hajtóműveinek sugárzásától, ezért alkalmazásuk visszaszorulóban van, helyüket az irányított sugárzással működő infravörös zavaró-berendezések veszik át. A katonai repülőgépeken már évtizedek óta alkalmaznak hőcsapdákat, vagy elektronikus rakétaelhárító rendszereket. Ezek polgári változatai is elkészültek, melyek automatikusan működnek, nem igényelnek beavatkozást a személyzet részéről. A **11. képen** egy F-16 típusú repülőgép látható infracsapdák szórása közben, a **12. képen** pedig C-130 Hercules teherszállító repülőgép infracsapdászóró berendezését mutatja.<sup>26</sup> [16]



11. kép



12. kép

Ennek ellenére alig néhány állam foglalkozik kormány szinten a polgári repülőgépek vállról indítható rakéták elleni védelmével, holott a veszély továbbra is fennáll. Sajnos, nem csak hazánkban, de a terroristák által kevésbé veszélyeztetett országokban sem látják el a polgári légiközlekedés gépeit rakétaelhárító eszközökkel, így ezek továbbra is kiszolgáltatottak egy rakétatámadással szemben.

### Repülőterek fizikai védelme az illetéktelen, vagy erőszakos behatolók ellen

Az illetéktelen behatolók első lépésként általában a kerítésekkel, mint műszaki akadályokkal találkoznak<sup>27</sup>, majd ezt követik a különböző mozgást jelző rendszerek. Gépjárművel történő erőszakos behatolások, vagy robbanóanyagok bejuttatásának megakadályozására többféle megoldás létezik. Ilyen célt szolgálnak a különböző formában kialakított és működtetett biztonsági úttorlaszok (road-blockerek), személyi- és gépjármű ellenőrző pontok, a forgalomlassítók, sorompók stb. A repülőterek kerítéseinek egy lehetséges kialakítására a **13. képen**, a road-blockerek alkalmazására **14. képen** láthatunk egy-egy példát. [17]

A road-blockerek elektronikával vezérelhetők, emelhető, vagy süllyeszthető akadályok, melyek ellenállnak a nagy erejű ütközéseknek, méreteitől és paramétereitől függően alkalmasak személy- és tehergépjárművek megállítására.

<sup>26</sup> A 12. és a 13. képek *forrása*: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Infracsapda>, *Letöltés ideje*: 2012.03.10.

<sup>27</sup> Lásd bővebben Kovács Zoltán: Gondolatok a drótzárakról. Műszaki Katonai Közlöny XI:(3-4) pp. 41-55. (2001)



13. kép<sup>28</sup>



14. kép<sup>29</sup>

### A repülőtéri épületek tartószerkezeteinek megerősítése, a hagyományos falszerkezetek robbanással szembeni védelme

Kísérletek bizonyítják, ha a hagyományos vasbeton oszlopokat, tartószerkezetek szénszálas, üvegszálas, vagy Kevlár szálas anyagokkal megerősítik, vagy burkolják, a robbantásokkal szembeni állékonyságuk megnő. Ezzel a megoldással a vasbetonvázas épületek ellen elkövetett robbantásos merényletek esetén az összeomlás elkerülhető, kevesebb lesz a halálos áldozatok száma. A raktárépületek, javítóműhelyek nagy része hagyományosan falazott szerkezettel épültek. Ezek megerősítésére találták ki az elasztikus műanyaggal bevont beton falazó blokkrendszert. A védőköpenyt képező szabadalmazott műanyag bevonat hajlékony, képlékeny, de méréseltemen teherbíró. A felületre az anyagot szórással lehet felvinni és az így kialakított bevonat energiaelnyelő tulajdonságokkal rendelkezik. A **15. képen** a megerősítő csíkok oszlopokon való túlnyúlása, a **16. képen** a polimer rétegnek a falra történő felhordása látható.<sup>30</sup>



15. kép



16. kép

Természetesen azt, hogy az épületek közül melyiket kell fokozott védelemmel megépíteni, a döntéshozók a repülőtér biztonsági előírásai, a védelmi tervekben szereplő épületek veszélyeztetettsége, valamint a rendelkezésre álló erőforrások, anyagi lehetőségek függvényében döntenek el. [18]

<sup>28</sup> Horváth Tamás: Korszerű kerítésvédelem. Hadmérnök VI. évfolyam 3. szám, 2011. szeptember, 3. kép 19. pp. Forrás: [http://hadmernok.hu/2011\\_3\\_horvath\\_2.pdf](http://hadmernok.hu/2011_3_horvath_2.pdf), Letöltés ideje: 2012.02.15.

<sup>29</sup> Forrás: <http://www.road-blocker.hu/>, Letöltés ideje: 2012. 02. 13.

<sup>30</sup> A 16. és a 17. képek forrása: Balogh Zsuzsanna mk. örgy.: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen cikkének 3. és 5. képei. Repüléstudományi közlemények 2009/2 külön szám: <http://www.szrfk.hu/rtk/>, Letöltés ideje: 2012.03.15.

## A biztonság fokozása a személyi és poggyász ellenőrzések szigorításával

A biztonság érdekében egyre szigorúbb – gyakran már a személyi jogokat is sértő – személyi és poggyász ellenőrzéseket kell bevezetni, amelyhez egyre korszerűbb berendezéseket kell alkalmazni. Nagy felháborodást váltott ki az utasok körében az újlenyomatos regisztráció, de vitát keltett az is, hogy több országban tervezik a testszkener bevezetését. Ettől hatékonyabb terrorizmusellenes küzdelmet remélnek. A vita kiváltó oka az volt, hogy az elektromágneses testszkener teljesen felfedi a test alakját. A szakterülettel foglalkozó tudósok egy olyan új, a hőkamerához hasonló biztonsági ellenőrző berendezést javasolnak kifejleszteni, amely egy cm-es tárgy kimutatására is alkalmas, de érdemben csökkentené az utasok intim szférájába való betekintés mértékét. A **17. képen** a fedélzetre felvihető anyagok jelenleg érvényes korlátozásai láthatók, a **18. kép** pedig az elektromágneses testszkener képi megjelenítését mutatja.



17. kép<sup>31</sup>



18. kép<sup>32</sup>

Az Európai Bizottság egyelőre nem döntötte el, hogy javasolja-e az európai repülőtereken az utasok személyi ellenőrzésekor a testszkener általános alkalmazását.

## A repülés területén a robbantásos terrorcselekmények elleni védelem növelésének lehetőségei

Ebben az alfejezetben bemutatjuk, hogy a NATO milyen új módszereket alkalmaz, milyen fejlesztéseket hajt végre a terrorizmus elleni küzdelemben, valamint áttekintjük, hogy nemzetközi szinten milyen jogi szabályozások történtek a repülés elleni terrorizmus visszaszorítására.

### A NATO terrorizmus elleni védekezésének fejlesztési területei

A fejlesztési programot a NATO Nemzeti Fegyverzeti Igazgatói indították el azzal a céllal, hogy olyan új módszereket és technológiákat dolgozzanak ki, amelyek hatékonyabbá teszik a terrorizmus elleni küzdelmet. Felállították a „Nemzeti Fegyverzeti Igazgatók Konferenciája” (rövidítve: CNAD) elnevezésű munkacsoportot, kidolgozták a „Terrorizmus elleni védelem munkaprogramját,” valamint meghatározták a fejlesztés területeit. Ezek a következők: [19]

<sup>31</sup> Forrás: [http://www.agoratrans.hu/repuloteri\\_biztonsagi\\_eloirasok.pdf](http://www.agoratrans.hu/repuloteri_biztonsagi_eloirasok.pdf), Letöltés ideje: 2012.03.15.

<sup>32</sup> Forrás: <http://www.kronika.ro/index.php?action=open&res=34775>, Letöltés ideje: 2012.03.15.



## Rögtönzött robbanóeszközök elhárítása

Ennek keretében részletes ismertetőket dolgoznak ki, hogy ezeket a robbanószerkezeteket miként készítik, hogyan használják, milyen hatással járnak, valamint olyan technológiákat fejlesztenek ki, amelyek alkalmazásával a bombák meghibásodnak, továbbá fel lehet deríteni azon helyeket, ahol gyártják és elrejtik azokat.

### Akna- és lőszermentesítés

A fejlesztés célja olyan adatbázis létrehozása, amelyben nyomon követhető a fel nem robbant lőszer, katonai robbanóanyagok, helye és mennyisége, továbbá olyan védőfelszerelések kifejlesztése, amely növeli a megsemmisítés hatékonyságát.

### Repülőgépek védelme vállról indított föld-levegő rakéták ellen

Technikai és nem technikai módszerek kombinációjával további védelmi megoldásokat fognak kifejleszteni a nagy, lassan mozgó légi járművek számára a vállról indított rakéták fenyegetése ellen.

### Helikopterek védelme rakétahajtású gránátok ellen

Ennek keretében kell olyan technológiákat, eljárásokat kifejleszteni, amelyek lehetővé teszik a forgószárnyas légi járművekbe a légvédelmi tűznek ellenálló bevonatok, szerkezeti anyagok kifejlesztését, valamint légzsákok és ülések beépítését.

### Kikötők védelme

A program célja, olyan felszíni és víz alatti érzékelő hálók kifejlesztése, amelyek képesek érzékelni és ártalmatlanná tenni a terroristákat, valamint olyan új eljárási módok, mechanizmusok alkalmazása, amelyek hatékonyabbá teszik a víz alatti aknaszedést és megsemmisítést, továbbá a gyorsnaszádok megbénítására alkalmas innovatív technológiák kidolgozása a hadihajók felszíni támadások elleni védelmi képességeinek javítása.

### Vegy, biológiai, radiológiai és nukleáris (CBRN) fegyverek felderítése, az ellenük való védekezés és az ilyen fegyverek leküzdése

Ennek keretében a Szövetségesek közös doktrínát, eljárásokat dolgoznak ki, szabványokat határoznak meg, kutatásokat végeznek olyan eszközök fejlesztése érdekében, amelyek az ilyen típusú fegyverek elleni védelemhez és a támadás utáni mentesítéshez szükségesek, valamint kutatásokat folytatnak olyan technológiák kifejlesztésére is, amelyek az ilyen halálos anyagok távolból történő érzékelésére használhatók.

### Precíziós légi célba juttatási technológia a különleges műveletekben résztvevő haderők számára

A Szövetségesek közösen dolgoznak olyan technológiai rendszerek kifejlesztésén, amelyekkel biztosítani lehet a különböző precíziós támadóeszközök, fegyverek pontos célba juttatását, hogy ne legyen olyan távoli hely, amely biztos menedéket nyújthatna a terroristáknak.

### Hírszerzés, felderítés, megfigyelés és terrorista célpontok megjelölése

A terrorcselekmények időben történő felderítése érdekében szükség van a meglévő érzékelők és



felderítő eszközök, rendszerek korszerűsítésére, vagy újak fejlesztésére, új szoftverek, számítógépes modellek és elemező eszközök alkalmazására az információk jobb és pontosabb értékelése miatt. További cél, a Szövetséges kormányok tevékenységének összehangolása, a terroristák nyomon követésére a társadalom különböző rétegeibe történő beolvadásuk felderítésére, a fenyegetések kiküszöbölésére, továbbá a szükséges intézkedések időben történő meghozatalára.

### Aknavetős támadások elhárítása

Ennek a programnak az a célja, hogy biztosítsa a NATO számára azokat a korszerű felszereléseket, helyzet-meghatározó radarokat és lézeres technológiákat, amelyre az aknák kilövési helyének automatikus érzékeléséhez és ahhoz van szükség, hogy megfelelő gyorsasággal és pontossággal lehessen a tüzet viszonzni.

### A polgári légi közlekedés védelmével kapcsolatos nemzetközi jogszabályok

Az Amerikai Egyesült Államokban 2001. szeptember 11-én történtek következtében az Európai Parlament és a Tanács elfogadta a 2320/2002/EK rendeletet, amely közös szabályokat határozott meg a polgári légi közlekedés biztonsága érdekében. Idővel a légi közlekedés védelme területén szerzett tapasztalatok alapján az addig érvényes jogszabályi előírásokat korszerűsíteni kellett, ezért megalkották és elfogadták a 300/2008/EK számú, a polgári légi közlekedés védelmének közös szabályairól szóló rendeletet. A meglévő rendelkezéseket felülvizsgálták és aktualizálták, végrehajtották azok egyszerűsítését, harmonizálását, továbbá a hiányosságok megszüntetésére új előírásokat léptettek életbe.

A 300/2008/EK egységes rendelkezés közös szabályokat állapít meg az Európai Unióban a polgári légi közlekedés védelme érdekében az azt veszélyeztető jogellenes cselekményekkel szemben. A rendelet előírásait alkalmazni kell az EU-tagállamok területén elhelyezkedő valamennyi olyan repülőterre vagy azok részeire, amelyeket nem kizárólag katonai célokra használnak, továbbá ezeken a repülőtereken szolgáltatást nyújtó minden üzemben tartóra, beleértve a légi fuvarozókat is. Ezen felül kiterjed valamennyi jogalanyra is, amely a repülőtér területén belül vagy kívül található helyszínen szolgáltatásokat nyújt a repülőtér számára.

A polgári légi közlekedés védelmét szolgáló *közös alapkövetelmények* az alábbiakra terjednek ki:

- a repülőterek védelme;
- a repülőterek elkülönített területei;
- a légi járművek védelme;
- utasok és kézipoggyász;
- feladott poggyász;
- áru és postai küldemény;
- légi fuvarozói posta és légi fuvarozói anyagok;
- fedélzeti ellátmány és repülőtéri készletek;
- a repülés tartama alatti védelmi intézkedések;
- a személyzet toborzása és képzése;
- a védelmi berendezések.

A rendelet tartalmazza azon általános intézkedések jegyzékét is, amelyek megállapítják a kö-





zös alapkövetelményekre vonatkozó kritériumokat és feltételeket, valamint azokat, amelyeket a fent említett alapkövetelmények nem alapvető fontosságú elemeinek módosítására kell használni. A rendelet részletes intézkedéseket sorol fel a közös alapkövetelmények végrehajtására vonatkozó kritériumok és eljárások tekintetében is.

Az EU-tagállamok felelős hatóságaira, az üzemben tartókra és a jogalanyokra kiterjedő kötelezettségek az alábbiak:

- Az EU-tagállamoknak ki kell jelölniük **egyetlen felelős hatóságot**, amelynek feladata biztosítani a közös alapkövetelmények végrehajtását.
- Mindegyik EU-tagállamnak meg kell terveznie és végre kell hajtania az alábbi programokat:
  - **a polgári légi közlekedés védelmét szolgáló nemzeti program**, amely meghatározza a közös alapkövetelmények végrehajtásával kapcsolatos hatásköröket; valamint
  - **a nemzeti minőségbiztosítási program**, amely nyomon követi a rendeletnek, valamint az adott ország nemzeti polgári légiközlekedés-védelmi programjának való megfelelést.
- Minden egyes üzemben tartónak és jogalanyoknak meg kell terveznie és végre kell hajtania a rá vonatkozó programok mindegyikét:
  - **repülőtér-védelmi program**, amely meghatározza a repülőtér üzemben tartója által annak érdekében követendő módszereket és eljárásokat, hogy megfeleljen mind ennek a rendeletnek, mind a repülőtér helye szerinti tagállamban érvényes nemzeti polgári légiközlekedés-védelmi programnak;
  - **a légi fuvarozói védelmi program**, amely meghatározza azokat a módszereket és eljárásokat, amelyeket a légi fuvarozónak követnie kell ahhoz, hogy megfeleljen mind ennek a rendeletnek, mind a repülőtér helye szerinti tagállamban érvényes nemzeti polgári légiközlekedés-védelmi programnak; vagy
  - **a jogalanyok védelmi programja**, amely meghatározza azokat a módszereket és eljárásokat, amelyeket a jogalanyoknak követnie kell ahhoz, hogy megfeleljen mind ennek a rendeletnek, mind a repülőtér helye szerinti tagállamban érvényes nemzeti polgári légiközlekedés-védelmi programnak.

A 300/2008/EK rendelethez kapcsolódnak olyan jogszabályok is, amelyek segítik az alaprendeletek végrehajtását. Ezek a következők:

- A Bizottság 185/2010/EU rendelete (2010. március 4.) a közös légiközlekedés-védelmi alapkövetelmények végrehajtásához szükséges részletes intézkedések meghatározásáról.
- A Bizottság 72/2010/EU rendelete (2010. január 26.) a légi közlekedés védelmével kapcsolatos bizottsági ellenőrzések eljárásainak megállapításáról.
- A Bizottság 1254/2009/EU rendelete (2009. december 18.) a polgári légi közlekedés védelmére irányuló közös alapkövetelményektől való eltérést és alternatív védelmi intézkedések elfogadását a tagállamok számára lehetővé tevő feltételek meghatározásáról.

Az EU-tagállamok felelőssége megállapítani a közös jogszabályok rendelkezéseinek megsér-

tése esetén alkalmazandó szankciókra vonatkozó szabályokat, valamint biztosítani a szankciók végrehajtását.

## ÖSSZEGZÉS

A terrorizmusnak még nincs egységes, jogilag is elfogadott definíciója. Jobb a helyzet a terrorcselekmények fogalmi meghatározásával kapcsolatban. Itt a szakemberek egységesen a jog oldaláról közelítették meg a kérdést és úgy foglaltak állást, hogy a terrorista célkitűzéseket és a terroristák által elkövetett támadásokat, akciókat, amelyek emberek életét vagy testi épségét veszélyeztetik, közveszélyt okoznak, alapvető szolgáltatásokat veszélyeztetnek, vagy az állam működését akadályozzák, köztörvényes bűncselekménynek kell tekinteni.

Napjainkban a terrortámadások sikeréhez nagyban hozzájárul a globalizáció, a technikai fejlődés, az internet elterjedése, széleskörű használata, a korszerű informatikai és híradó eszközök, berendezések, valamint a könnyen beszerezhető robbanó-, vegyi- és nukleáris anyagok. A terrorcselekmények célpontjait nehéz behatárolni. Általában a könnyen sebezhető, kevésbé védett, vagy védhető létesítményeket támadják meg. Gyakran olyan célpontokat választanak, amelyeknek a szimbolikája, vagy a funkciója bír nagy jelentőséggel. Ha elrettentést, megtorlást vagy félelemkeltést akarnak elérni, sok ember által látogatott épületeket, épületegyütteseket jelölnek ki célpontnak. Ezért a védelmi szakemberek nehezen tudják pontosan meghatározni a terrortámadások célobjektumait, legfeljebb csak azok körét, amelyek számításba jöhetnek.

Ha a repülés biztonságát egy lehetséges terrortámadás szemszögéből vizsgáljuk, megállapítható, hogy azok legtöbb esetben a repülőgépek ellen irányulnak és csak kisebb számú támadás éri a repülőterek épületeit, létesítményeit, működési és biztonsági rendszereit. Ennek részben az oka, hogy a repülőterek létesítményeinek támadása komoly előkészítést, nagy szakértelmet, pontos információkat igényelnek. A repülőgépek és a repülőterek elleni robbantásos terrorcselekmények esetén különbséget kell tenni a katonai és a polgári gépek és repülőterek között. A különbséget a célobjektumok területi elhelyezkedése, védelme, valamint azok üzemeltetési sajátosságai adják.

A terrorista csoportok aktivitása, romboló képessége folyamatosan nő. Az Internet segítségével fejlett és sokoldalú kommunikációs technikákat kidolgoztak ki, egyre járatosabbak a modern technológiák saját célú felhasználásában és nagy gyakorlatot szereztek a robbanóeszközök készítése és alkalmazása területén is. Ebből következik, hogy a repülőterek létesítményei, objektumai, rendszerei, vagy a repülőgépek ellen végrehajtott terrortámadások sokféle formában valósulhatnak meg, így nagyon nehéz ellenük védekezni.

A terrorakciók kiszámíthatatlansága, összetettsége, rejtettsége, eltérő védekezési formákat és módszereket igényelnek annak ellenére, hogy ezeknek vannak közös elemei, területei. A repülőtéri létesítmények robbantásos cselekmények elleni védelmének nagyon sok formája létezik, de ezek alkalmazása és a megvalósítás színvonala országonként más és más. A védekezés hatékonyságának növelése csak úgy valósítható meg, ha megfelelő technikai fejlesztésekkel, új védekezési elvek és módszerek kidolgozásával, alkalmazásával képesek leszünk a készülő terrorcselekményeket időben felderíteni, a veszélyes terroristákat nyomon követni, továbbá



egységes jogi szabályozás és követelmények kidolgozásával elősegíteni a különböző védekezési eljárások harmonizálását, az elkövetők szigorú felelősségre vonását. Az EU rendelkezik az ehhez szükséges alapvető jogszabályokkal, de nemzeti szinten még sok a hiányosság. Hazánkban elsősorban a repülés biztonságával, az épületek és létesítmények robbanás elleni védelmének kialakításával, valamint a korszerű felderítő és elhárító eszközök alkalmazásával kapcsolatban vannak lemaradások.

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,,

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.publikon.hu/htmls/cikkek.html?ID=23&articleID=345> (2012.02.13.)
- [2] [http://biztpol.corvinuembassy.com/?module=corvinak&module\\_id=4&cid=32](http://biztpol.corvinuembassy.com/?module=corvinak&module_id=4&cid=32) (2012.02.13.)
- [3] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Terrorizmus> (2012.02.11.)
- [4] BATKÓ Róbert: Gondolatok a terrorizmus fogalmáról. Belügyi Szemle, 53. évf. 6. szám, 75-88.o
- [5] [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=97800004.TV](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=97800004.TV) (2012.02.27.)
- [6] OPRÁVEL László alezredes doktorandusz: A szárazföldi erők hazai bázisú részvételének néhány kérdése a terrorizmus elleni küzdelemben. Forrás: <http://www.zmne.hu/dokisk/hadtud/opravel.pdf>, (2012.02.27.)
- [7] <http://lakossag.katasztrofavedelem.hu/?pageid=93&content=1> (2012.02.13.)
- [8] CHARLES Townsend: A terrorizmus (ford. Nádori Attila) Magyar Világ Kiadó, 2003, 37. o.
- [9] [http://www.mfa.gov.hu/kum/hu/bal/Konzuli\\_informaciok/Utazas\\_kulfoldre/Altalanos\\_utasasi\\_tanacsok/terrorizmus.htm](http://www.mfa.gov.hu/kum/hu/bal/Konzuli_informaciok/Utazas_kulfoldre/Altalanos_utasasi_tanacsok/terrorizmus.htm) (2012.03.03.)
- [10] [http://www.sg.hu/cikkek/84433/dollarmilliardokban\\_merhet\\_337\\_a\\_biztonsag](http://www.sg.hu/cikkek/84433/dollarmilliardokban_merhet_337_a_biztonsag), (2012.03.03.)
- [11] [http://www.titoktan.hu/\\_raktar/\\_e\\_vilagi\\_gondolatok/Terrorizmus-Biztonsaga.htm](http://www.titoktan.hu/_raktar/_e_vilagi_gondolatok/Terrorizmus-Biztonsaga.htm), (2012.03.03.)
- [12] <http://fn.hir24.hu/vilag/2011/12/22/2011-legsulyosabb-terrortamadasai/> (2012.03.03.)
- [13] NÉMETH József: A repülésbiztonság, mint stratégiai kérdés Forrás: <http://www.biztonsagpolitika.hu/userfiles/file/PDF/repstrat.pdf>. (2012.03.10.)
- [14] DUDÁS Zoltán: Repülési biztonság, Forrás: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2003\\_cikkek/dudas\\_zoltan.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2003_cikkek/dudas_zoltan.pdf) (2012.03.10.)
- [15] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Rep%C3%BCI%C5%91t%C3%A9r>, (2012.03.10.)
- [16] MÁRVÁNYI Péter: Vállról indítható fenyegetés a polgári légi közlekedés ellen. Forrás: <http://iho.hu/hir/vallrol-indithato-fenyegetes-a-polgari-legi-kozlekedes-ellen-1109>, (2012. 03. 10.)
- [17] <http://www.road-blocker.hu/>, (2012. 02. 13.)
- [18] KOVÁCS Zoltán: Gondolatok a drótzárakról. Műszaki Katonai Közlöny XI:(3-4) pp. 41-55. (2001)
- [19] BALOGH Zsuzsanna mk. örgy.: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen. Repüléstudományi közlemények 2009/2 külön szám: Repüléstudományi Konferencia 2009. április 24. <http://www.szrfk.hu/rtk/>, (2012. 03. 15.)
- [20] Forrás: <http://www.nato.int/docu/review/2004/issue3/hungarian/military.html>, (2012. 02. 13.)
- [21] Forrás: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/transport/air\\_transport/tr0028\\_hu.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/transport/air_transport/tr0028_hu.htm), (2012. 03. 15.)
- [22] HORNYACSEK Júlia: A települési védelmi képességek a katasztrófa-kihívások tükrében, "Biztonságunk érdekében" Oktatási- és Tanácsadó Tudományos Egyesület Budapest, 2011. 3. o. ISBN: 978-963-08-2606-8
- [23] Dr. HORNYACSEK Júlia: Polgári védelem 1. ZMNE Budapest: 2009. 13. o. ISBN: 978-963-70-60 66-3
- [24] Dr. HORNYACSEK Júlia: A repülőterek környezetében lévő települések katasztrófavédelmi feladatai, Repüléstudományi Közlemények On-line Tudományos Folyóirat, ZMNE, 2011/2 különszám, 2011. április, 17. oldal ISSN: 1789-770X



Prof. Dr. Szabolcsi Róbert<sup>1</sup>

## **BEMUTATKOZIK A TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „KRITIKUS INFRASTRUKTÚRA VÉDELMI KUTATÁSOK” PÁLYÁZAT<sup>2</sup>**

*A szerző célja röviden bemutatni a „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat előkészítésének, és benyújtásának hátterét, ismertetni a pályázat szakmai tartalmát, a fontosabb területeket. A pályázat várható eredményei a kulcselemei a pályázatnak, ezért a szerző kiemelt figyelmet fordít a várható eredmények bemutatására. A szerző, tekintettel a hivatkozott forrásokra, azokat összegezve, de azok szakmai tartalmát érdemben nem változtatva mutatja be a pályázatot.*

### **THE TENDER No TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 CALLED „MANAGEMENT OF THE CRITICAL INFRASTRUCTURE” IS INTRODUCING**

*The aim of the author is to highlight roadmap of the preparation phase, and the application for the tender called „Management of the critical infrastructure”. Author will show the tender main areas, key elements of the expected results in the fields defined by the tender. Regarding references shown in this article author will strictly follow them.*

## **I. A PÁLYÁZATI FELHÍVÁS [1][2][3]**

A hazai felsőoktatás a rendszerváltás óta eltelt időszakban, eleget téve a piacon kialakuló mennyiségi igénynek, komoly expanzív időszakot tudhat maga mögött, amely le is zárult. A felsőoktatás jelene és jövője egyre inkább a nyújtott szolgáltatásuk minőségtől függ. A társadalmi-gazdasági kihívások megválaszolásában, a modernizálás-, és fejlesztés folyamatában, a versenyképesség javításában egyre fontosabb szerepet játszanak a felsőoktatási intézmények. A pályázat célja, hogy a minőség javulása révén, vonzóbbá tegye a hazai felsőoktatási intézményeket, amelyek javítják a szellem potenciáljukat, korszerűsítik oktatási rendszerüket, a tudományos-innovációs tevékenységük eredményeit beépítik az oktatásba. [1][2][3]

## **II. ELŐZMÉNYEK, KONZORCIUM LÉTESÍTÉSE [4]**

Az Óbudai Egyetem és a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem 2011 elején tudományos-szakmai együttműködésük irányait megállapodásban rögzítették, melyben az együttműködés alábbi fő irányait rögzítették [4]:

- elősegíteni az együttműködő felek közti kapcsolatok kialakítását, az együttműködés

<sup>1</sup> okl. mk. ezds., egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, szabolcsi.robort@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

fejlesztését és bővítését;

- biztosítani a jelen és a jövő szakemberei magasabb szintű szakmai műveltségét;
- felhasználni a felek kutató, szaktanácsadói kapacitását a K+F+I feladatok megoldásához;
- közös pályázatok készíteni olyan területek kutatására, amelyek elősegítik a vonatkozó képzési ágazatok fejlődését, a különböző EU-előírásoknak való megfelelést;
- elősegíteni az intézményekben folyó képzések elméleti és gyakorlati oktatást, valamint K+F+I+O tevékenységeket;
- fenntartani a folyamatos és közvetlen információcserét.

A projekt célkitűzése a kritikus infrastruktúra védelem területén, nemzetközi színvonalon, és lehetőség szerint nemzetközi együttműködésben végzett kutató-fejlesztő tevékenységhez szükséges kritikus tömegű humánkapacitás konszolidációja, szükség szerinti fejlesztése, valamint az e területeken végzett innováció támogatása.

Az Európai Parlament és a Tanács 2006. december 18-i 1982/2006/EK határozatával összefüggésben a projekt célja a nemzetközileg elérhető tudás összegyűjtése, adaptációja, és disszeminációja, illetve olyan új technológiák és tudás létrehozása, amely hozzájárul a polgárok biztonságának szavatolásához olyan fenyegetések ellen, mint például a terrorizmus, a természeti katasztrófák és a bűnözés, az emberi alapjogok – köztük a magánélethez fűződő jog – egyidejű tiszteletben tartásával.

A projekt négy kiemelt kutatási területre fókuszál: a nagy megbízhatóságú, hibatűrő, ún. „ön-gyógyító” infrastrukturális alrendszerek; az egyes alrendszerekből származó adatok integrált kezelése; az alrendszerekben történő elosztott számítások és az alrendszerek közötti biztonságos kommunikáció; illetve a biztonsági szint állami intézményrendszer, üzemeltetők és tulajdonosok, állampolgárok együttműködése révén történő fenntartható növelése.

Mind rendszerelméleti-, mind költséghatékonysági szempontból fontos a meglévő technológiák optimális és összehangolt használatának biztosítása a polgári biztonság javára, továbbá a polgári biztonsági megoldások szolgáltatói és felhasználói közötti együttműködések serkentése, ezért a projekt a területen oktató és kutató egy-egy katonai illetve polgári egyetem konzorciumi együttműködésében valósul meg.

## **2. 1 A projekt általános céljai**

A projekt a kritikus infrastruktúra minden elemével (fizikai, kiber, és humán elemek egyaránt) kapcsolatosan tartalmaz célkitűzéseket. A fejlesztési célokat a Kritikus Infrastruktúra Védelem Nemzeti Programjából – 2080/2008. (VI. 30.) Korm. határozat – vezettük le, figyelembe véve mind az *Európai Unió*s, mind az *Egyesült Államokbeli* vonatkozó iránymutatásokat is.

A projekt négy kiemelt, természettudományos, műszaki, és technológiai kutatási területre fókuszál, melyek mindegyike több kritikus infrastruktúra szektor számára szolgál majd eredményekkel. A kutatások során *a fizikai-, a kiber-, és humán tényezőket egyaránt figyelembe vesszük*, és az egyes kutatási projektek szoros együttműködésben, integrált módon kerülnek végrehajtásra.

A konzorciumi partnerek három hosszú távú stratégiai célkitűzést fogalmaztak meg a projekt

előkészítése során.

- Egységes, nemzeti szinten elfogadott *kutatási keret* („fogalomtár”) kidolgozása és elfogadása az érintett szereplőkkel való konzultációk során;
- A *legújabb generációs számítási és kommunikációs technológiák* hatásainak elemzése, beépítése a stratégiákba;
- Rugalmas, ön-diagnosztizáló és *ön-gyógyító fizikai és kiber infrastrukturális elemek* (módszerek, eljárások, technológiák, szolgáltatások) kidolgozása.

Az eredmények széleskörű, társadalmi léptékű hasznosulása a probléma komplex természetéből fakadóan csak hosszabb távon, a projekt *fenntartási időszakában* várható, amely három év a projekt zárását követően.

## 2. 2 A projekt konkrét céljai

1) Az *Óbudai Egyetem* életében a 2010-es egyetemmé válás, a megszűnő *Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem* jogutódjaként megalakuló Nemzeti Közszolgálati Egyetem életében a 2012-es év jelentős változásokat hozott. E változásokhoz mindkét intézmény csak úgy tud alkalmazkodni, csak akkor tud a társadalom-, valamint a gazdaság számára hasznos tevékenységeket folytatni, ha újraértelmezi, újrafogalmazza saját szerepét, és *kijelöli új feladatát a hazai felsőoktatás palettáján*. Az egyetemi lét elválaszthatatlan része az intenzív, nemzetközileg is ismert, és elismert kutatómunka; ezért mindkét intézmény jövője szempontjából kulcsfontosságú a *kiemelt, stratégiai kutatási irányokra való koncentráció*, és a jövőképet kibontó stratégiai dokumentumok kidolgozása, illetve folyamatos aktualizálása.

2) A stratégiai dokumentumok felvázolják a jövőképet, de a magas színvonalú kutatásra (és oktatásra) alkalmas humán erőforrás nélkül e célok, reálisan nem elérhetőek. Ezért az intézmények fejlődése szempontjából létfontosságú, hogy a változó környezetben is meg *tudják tartani legkiválóbb oktatóikat, illetve kutatóikat*, legyen lehetőségük a személyi állomány *minőségi bővítésére*, különös tekintettel a *doktori iskolák* saját nevelésű utánpótlására.

3) Az intézmények hazai és nemzetközi pozícionálásához elengedhetetlen az egyedi, ugyanakkor széles érdeklődésre számot tartó kutatási profil kialakítása. A *kritikus infrastruktúra védelme* az elmúlt évtizedben a nemzetközi érdeklődés homlokterébe került, ugyanakkor még számos feltárássra váró alap-, illetve alkalmazott kutatási probléma definiálható. Mindezeket belátva, a két intézmény vezetői úgy vélték és ebbéli közös véleményüket együttműködési szándéknyilatkozat formájában is kinyilvánították, hogy tovább kívánják növelni közös tevékenységeik intenzitását, különös tekintettel a nemzetközi szinten végzett közös kutatási tevékenységekre.

4) A kritikus infrastruktúra védelme csak a civil-katonai partnerség kiszélesítésével lehet hatékony és hatásos. Ezért az intézmények kapcsolatrendszerének további bővítése, a kapcsolatok fejlesztése és ápolása, és az eredmények széles körű társadalmisítása a projekt további kiemelt célja.

### III. A PÁLYÁZAT TERÜLETEI [5]

Az állami-, és a gazdasági szereplők, valamint a lakosság is egyre növekvő mértékben függ az infrastruktúrától, melynek számos eleme kritikusnak tekinthető a modern társadalmak működése szempontjából, azok diszfunkciója, esetleges részleges, vagy teljes összeomlása komoly szociális és/vagy gazdasági problémákat okoz, a legsúlyosabb esetben számos emberélet kerülhet veszélybe. [5]

A kritikus infrastruktúra védelem *szektorai* országonként változnak, de leginkább elfogadott az alábbi felsorolás: energetikai rendszerek; telekommunikációs és informatikai rendszerek; élelmiszer és ivóvíz ellátás; közlekedés; egészségügy; pénzügyi rendszer; igazságszolgáltatás; közigazgatás (állami és honvédelmi / rendvédelmi szervek). [5]

Az egyes *kritikus infrastruktúra elemek kölcsönösen, és egyre növekvő mértékben* függenek egymástól, ami az információs infrastruktúrák penetrációjával még fokozottabban jelentkezik, ezért már a kritikus és nem-kritikus infrastruktúra-elemek izolációja önmagában is kihívást jelent az üzemeltetők számára.

Mivel a kritikus infrastruktúra egyes alrendszerei önmagukban is komplex egészet alkotnak, ezért a belső összefüggések jobb megértése, a hiba okok feltárása, a fenyegetések elhárítása további tudományos kutatómunkát igényel, melynek fókuszában az *(al)rendszerek megbízhatóságának növelése*, ún. „öngyógyító” rendszerek / architektúrák kialakítása áll.

Sajnálatos tény, hogy az üzemzavarok/ külső fenyegetések hatására fellépő problémák nem állnak meg az adott (al)rendszer határainál, *következményeik megjelennek további (al)rendszerekben* is.

Például az energiaellátás zavarait lokálisan viszonylag rövid idő alatt helyre lehet állítani, ám elhúzódó krízist okozhat a közlekedésben. Ezért a hatékony védelmi intézkedések megtervezéséhez és foganatosításához nélkülözhetetlen az (al)rendszerekből származó adatok integrált kezelése (gyűjtése és feldolgozása).

Az alrendszerek közötti nagysebességű, *megbízható és biztonságos adatáramlás* igénye miatt külön kutatási területet képez az információs és kommunikációs infrastruktúra elemek vizsgálata, mely felöleli a modern, virtualizációs technikák és elosztott számítások (cloud-computing) témakörét is.

Az eddigiekben is hangsúlyoztuk, hogy: minden fejlesztés hatása megsokszorozható, illetve bizonyos területeken csak úgy képzelhető el további biztonságnövekedés, ha mind a kutatásokba, mind a védelmi tevékenységekbe az összes érintett szereplőt bevonjuk. A kritikus infrastruktúra védelme csak annak függvényében valósítható meg, ha részletes elemzéssel *a lehető legmélyebben, és társadalmi összefüggéseiben* feltárjuk a létfontosságú infrastruktúrákra ható veszélyek forrásait, azok által okozható károk várható következményeit.

E vizsgálat során mindenképpen indokolt elvégezni a tárgykörben meghonosodott fogalmak tisztázását, egységes értelmezését, a veszélyforrások besorolását, valamint a védelem, illetve a megelőzés és a kárelhárítás feladatrendszerének pontosítását. Ezért a hivatásos-civil partnerségen alapuló alap kutatások képezik a pályázat negyedik stratégiai irányát, ahol a fő cél a *szolgáltatások minőségének növelése, illetve a kockázatok kezelése*.

A fenti stratégiai irányvonalaknak megfelelően a pályázat kiemelt kutatási területei az alábbiak [5]:

1. Öngyógyító (al)rendszerek;
2. Adatok integrációja;
3. Információs és kommunikációs technológiák;
4. Katonai-civil partnerségen alapuló kutatások.

A pályázat megvalósítása során az alábbi tevékenységek, és résztvevő tevékenységek kerülnek elvégzésre:

1. Kutatás-fejlesztéssel kapcsolatos stratégiai dokumentumok kidolgozása;
2. A szellemi potenciál fejlesztésével kapcsolatos tevékenységek;
3. Kiemelt kutatási területek minőségi fejlesztésével kapcsolatos tevékenységek;
4. Az intézményi kapcsolatrendszer fejlesztésével kapcsolatos tevékenységek;
5. A kialakított kutatási szervezet(ek) jövőképeinek kidolgozása.

#### IV. A PÁLYÁZAT VÁRHATÓ EREDMÉNYEI, FONTOSABB INDIKÁTORAI [5]

A pályázat megvalósításakor a pályázók imponáló indikátor-halmaz teljesülését vállalták, melyeket az alábbiak [5]:

##### 1) *Eredmény indikátorok*

- A Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karon megalakul az Alkalmazott Biztonságtudományi Doktori Iskola;
- A tudományos fokozattal rendelkező oktatók, kutatók aránya az Óbudai Egyetemen;
- A tudományos fokozattal rendelkező oktatók, kutatók aránya az Óbudai Egyetem érintett karain (BGK, NIK);
- A tudományos fokozattal rendelkező oktatók, kutatók aránya az Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen (NKE-n);
- A pályázat eredményeként benyújtott (magyarországi vagy nemzetközi) szabadalmi kérelmek (szabadalom, oltalom) száma.

##### 2) *Kimenet indikátorok*

- A pályázat támogatásával hazai és nemzetközi szakfolyóiratokban cikkek megjelentetése;
- A pályázat támogatásával megvalósult konferencia előadások;
- A pályázat támogatásával megjelent hazai és nemzetközi monográfiák;
- A pályázat támogatásával elkészült védelmi tanulmányok és stratégiák;
- A pályázat támogatásával létrejött egyéb tudományos tárgyú dokumentumok (TDK dolgozat, szakdolgozat stb.);
- A pályázat keretében megvalósuló K+F tevékenységek;
- A pályázat megvalósításába bevont oktatók kutatók;
- A pályázatban közreműködő, doktori képzésben részt vevő hallgatók;
- A pályázat megvalósításába bevont nemzetközileg elismert, külföldi szaktekintélyek;
- A pályázat megvalósításába bevont külső szakemberek.





---

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző ezúton köszöni meg az Óbudai Egyetem, és a Nemzeti Közszolgálati Egyetem oktatóinak-, kutatóinak, és munkatársak munkáját, akik a pályázat szakmai-, és pénzügyi előkészítésében kiemelkedő felkészültségről tettek tanúbizonyságot, és érdemben járultak hozzá a pályázat sikeréhez.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Pályázati felhívás, 2011.
- [2] Pályázati útmutató, 2011.
- [3] Konzorciumi pályázat, 2011.
- [4] Konzorciumi Szerződés az Óbudai Egyetem, és a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem között, 2011.
- [5] Pályázati megvalósíthatósági tanulmány, 2011.



Vas Tímea<sup>1</sup> – Dr. Palik Mátyás<sup>2</sup>

## UAV REPÜLŐESEMÉNY EGY HADMŰVELETI REPÜLŐTÉR KÖZELÉBEN<sup>3</sup>

*A háborúban és a konfliktushelyzetben történő légtérelőrzés szabályait a NATO ATP-40(C) doktrína szabályozza. [1] A doktrína elveinek betartásával a hadszíntér feletti légterekben az ott működő hadműveleti-harci-, a hadműveleti harc-támogató és a nem hadműveleti forgalom biztonsága garantált. [2] A szerzők célja, hogy bemutassanak egy bekövetkezett repülőeseményt, mely hadműveleti területen egy hadműveleti harc-támogató és a nem hadműveleti forgalom között következett be. A cikkben vázolt téma szorosan kapcsolódik az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat, „Adatintegráció” alprogramjának, „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” kiemelt kutatási terület egyik – UAV alkalmazás szabályozása repülőterek közelében – vizsgálandó területéhez.*

### **INCIDENT IN THE VICINITY OF AN OPERATIONAL AIRFIELD (TAKING PART IN UAV AND AIRBUS A300)**

*The rules and procedures of Airspace Control in Time of Crisis and War included in NATO ATP 40 (C). Keeping the principles and rules of the above mentioned document, it is granted for operation combatant, operation supporter and general air traffic to complete their tasks in secure over the area of operations. The aim of writers to introduce an incident happened with concerning an operation supporter and a general traffic over the area of operations. The subject, which is evaluated in the followings, is closely concerning to the „Új Széchenyi Terv (New Plan Szechenyi) „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-Critical infrastructure defending research” tender, and its subordinated plan, called „Data integration”, which highlighted project is the „Operations of Unmanned Aerial Vehicle and its aspects for Air Safety” analyzing the UAV operations in vicinity of airfields.*

## REPÜLÉSBIZTONSÁG BÉKÉTŐL ELTÉRŐ IDŐSZAKOKBAN

A katonai UAV-k működési eljárásai lényegesen eltérnek egymástól háborús műveletekben, és békében való alkalmazáskor. A cikkben a NATO-ban egységesen elfogadott Unmanned Aerial Vehicle (UAV) kifejezés fogalma alatt az alábbiakat értjük: „Egyszer- vagy többször felhasználható, vezető nélküli, meghajtott légi jármű, mely repüléséhez aerodinamikai erőket használ. Távírányítással, programozott önirányítással, illetve kombinált irányítással működhet, képes halálos- vagy nem halálos teher hordozására.” [3]

A háborúban a békétől eltérő, jóval szigorúbb szabályozás lép érvénybe a légtérelőrzés körzetében. A béke időszak civil hatásainak jogosításait megfelelő szintű katonai vezető veszi át, akik meghatározott utasításai alapján rendelkeznek a légtér felhasználásáról. Ebben az időszakban

<sup>1</sup> szds, gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, vas.timea@uni-nke.hu

<sup>2</sup> alez., tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

a légtérelenőrzés körzetében általában megtiltják, szükség szerint korlátozzák a nem hadműveleti légi forgalmat. Ebben az időszakban a háborús események hatására nincs vagy nem biztosított a folyamatos rádiólokációs eszközökkel végzett légtérelenőrzés, ezért más eszközökhöz és eljárásokhoz kell folyamodniuk. A légtérelenőrzést zónákkal, útvonalakkal, vagy körzetekkel kijelölhető légtérrészekkel (a légtérelenőrzés eszközei) és a repülőkötelékek számára előírt eljárásokkal biztosítják, melyek segítségével lehetővé válik a légtérhasználók egymástól való biztonságos elkülönítése és a légvédelem kockázatmentes alkalmazása is.



1. ábra Napjainkban még vízió az UAV-k integrációja<sup>4</sup>

Az UAV-k – a többi légtérhasználóval együtt – a légtér ellenőrzési tervben meghatározott módszerek alapján hajtják végre feladatukat. Az elkülönítést közöttük és a többi felhasználó között időben, vagy térben biztosítják. A kitűzött feladatokat vagy egy speciális útvonalon, vagy egy korlátozott műveleti zónában hajtják végre. Az ismertetett eljárás a maga módján biztonságos, de csak akkor, ha az említett légtérben és útvonalon nincs más légitármű az UAV-n kívül. Mivel napjainkban igen megnövekedett az UAV-k felhasználása a hadműveleti területek feletti légtérben, új problémával kell szembenézniük a légtérhasználóknak. A szövetséges viszonylag kis földrajzi kiterjedésű helyek felett olyan nagy számban használnak UAV-eket, hogy azzal a hagyományos repülőgépeket és helikoptereket veszélyeztetik. Így gyakran előfordulnak a veszélyes megközelítések, esetleg kisebb balesetek. Ez az állapot egy újabb probléma, amit meg kell oldaniuk a szakembereknek, vagy technikai vagy, szervezési módszerekkel. [3]

## A REPÜLŐESEMÉNY LEÍRÁSA

A repülőesemények vizsgálatánál figyelembe kell venni minden körülményt mely annak bekövetkezéséhez vezetett. A rendelkezésre álló információk, természetesen nem mindig bizonyulnak elégségesnek ahhoz, hogy teljes képet kapjunk az esemény bekövetkezéséhez vezető egyes történések sorozatában. Ilyen esetekben további vizsgálatok, kutatások és természetesen hosszabb idő szükséges a bekövetkezés okainak feltárására.

Nemzetközi irányelvek alapján a repülőesemények vizsgálatánál elsődleges joghatóságként az, az állam jár el, akinek a területén vagy területe felett az esemény bekövetkezett. A fent

<sup>4</sup> <http://en.ruvsa.com/upload/medialibrary/814/3.jpg>

említett kategóriák figyelembevételével, az esemény súlyosságát figyelembe véve, az eljárás lefolytatója lehet az illetékes hatóság, de az üzemeltető hatáskörébe is utalhatja azt.

Amennyiben az érintett légi járművek, vagy az eseményben közvetlenül érintett személyek, más államhoz tartoznak, a kivizsgálás lefolytatásában képviselőik útján másodlagos joghatóságként részt vehetnek. Ilyen eset lehet, ha az adott esemény bekövetkezése egy másik állam biztonsága ellen irányult, esetleg annak állampolgára követte el. A vizsgálat az esemény súlyosságát tekintve a szakmai vizsgálattal párhuzamosan folytatott jogi vizsgálatra is kiterjed, mely a felmerülő felelősség függvényében szabálysértés vagy bűncselekmény megállapítását vonja maga után.

Az illetékes szakmai vizsgáló szerv feladata a szükséges dokumentációk begyűjtése, a fedélzeti és repülési adatrögzítők vizsgálata, a szemtanúk meghallgatása, azért, hogy az esemény rekonstruálását minél hatékonyabban elvégezhessek. Nem felelőst keres, a feladata tényfeltárás és megállapításaival, ajánlásaival lehetőséget biztosít arra, hogy a jövőben hasonló események elkerülhetőek legyenek.

## A helyszín

A bemutatásra kerülő esemény helyszíne Afganisztán, Kabul, Nemzetközi Repülőtér, 2004 nyara. Az esemény résztvevőinek pontos megnevezésétől, személyiségi jogok esetleges megsértését elkerülve, eltekintenek. A tények ismertetése és az esemény bemutatását és megértését nem is befolyásolják.

A pontos helyzet megismertetéséhez szükséges néhány szóban említést tenni az ázsiai ország geopolitikai helyzetéről és a repülőtér státuszáról, elhelyezkedéséről is. Az országban a politikai egyensúly és stabilitás megteremtése érdekében a NATO<sup>5</sup> és Szövetséges erők részvételével 2003 óta működő ISAF<sup>6</sup> látja el többek között a repülőtér üzemeltetésével járó feladatokat. Ez azt jelenti, hogy a repülőtér biztonságos működtetéséhez szükséges szolgáltatásokat (többek között az ATS<sup>7</sup>) a többnemzeti csoport katonái látták el. Az ország földrajzi sajátosságait tekintve a repülőterek jelentik a mai napig Afganisztán „kapuit” a külvilág felé, mivel az egyéb közlekedési útvonalak nem megfelelően kiépítettek és egyáltalán nem biztonságosak. A repülőtér vonatkozási pontjának magassága 5871’ (láb) a közepes tengerszinthez viszonyítva, északi irányból hegyek határolják, déli irányban a város helyezkedik el. Megközelítéséhez a kedvező süllyedési profilt a keleti irány jelenti, ezért elsősorban a 29-es pályairányt használják, amennyiben az időjárási viszonyok megengedik.

A kabuli repülőtér egyaránt kiszolgál katonai és civil légit forgalmat is. A katonai és polgári repülőgépek valamint eljárásaik különbözőek. Biztonságos irányításuk érdekében bevezetésre kerültek egyes korlátozások is. Ilyen volt például, hogy a polgári légi járművek csak a napkeltétől napnyugtáig terjedő időszakban repülhettek, mivel abban az időben még csak VOR/DME<sup>8</sup> berendezés segítségével tudták megközelíteni a repülőteret. Csak a katonai forgalom biztonsá-

<sup>5</sup> NATO – North Atlantic Treaty Organization

<sup>6</sup> ISAF – International Security Assistance Force

<sup>7</sup> ATS – Air Traffic Services

<sup>8</sup> VOR/DME – Very High Frequency Omnidirectional Radio/Distance Measuring Equipment

gos leszállításához volt TACAN<sup>9</sup> berendezés telepítve. A repülőtér körzetében a légi járművek irányításához az irányító szolgáltatnak nem állt rendelkezésére radarberendezés. Éppen ezért a repülőtér irányítói körzetét az ICAO<sup>10</sup> „D” osztályú légtérbe sorolták, mely egyik sajátossága, hogy a légi jármű vezetőjének lehetővé teszi, hogy saját elkülönítés tartásával a többi forgalmától hajtva végre a repülőtér megközelítését és a leszállást. Az irányítás megkönnyítése és a légiforgalom gyors és rendszeres áramlásának biztosításához a légiforgalmi irányító szolgáltatnak folyamatos tájékoztatások biztosításával kellett szerveznie a repülőtér forgalmát.

### Az időjárás és forgalmi helyzet

Az repülőesemény további bemutatásához szükséges az időjárás és forgalmi helyzet ismerete. A nyárvégi időszak adott napja mentes volt az extrém időjárás viszonyoktól, hiszen a hőmérséklet 26 °C, a nyomás 1016 HPa és CAVOK<sup>11</sup> volt, mely szerint a látás több mint 10 km, 1500’ vagy a minimális szektormagasság alatt nem volt felhőzet. A reggeli órák ezen időszakában a repülőtér irányítói körzetében egy leszálláshoz közelítő Airbus 300, polgári személyszállító légi jármű és egy LUNA típusú, könnyű, pilóta nélküli légi jármű tartózkodott. A repülőtéri irányító szolgáltatot, a „TOWER”-t a többnemzeti csoport egy légiforgalmi irányítója látta el, aki a szolgálat ellátásához szükséges vizsgával rendelkezett.

### A „résztvevő” légi járművek

A légi járművek repülési jellemzőit tekintve a „LUNA,” pilóta nélküli repülőeszköz, a Bundeswehrben rendszeresített német gyártmányú toló légszárnyas, rövid hatótávolságú, elsősorban felderítési célokat szolgáló eszköz. Földön telepített katapultról indítható, előre programozott profilt repül végig.



2. ábra A LUNA típusú UAV<sup>12</sup>

<sup>9</sup> TACAN – Tactical Air Navigation System

<sup>10</sup> ICAO – International Civil Aviation Organization

<sup>11</sup> CAVOK – Ceiling and Visibility OK, a kifejezést akkor használhatjuk, ha a látástávolság 10km vagy több, és nincs felhő 5000 láb (1500 m) vagy a minimális szektormagasság alatt (amelyik a magasabb), nincs CB, és nincs a repülést befolyásoló időjárás jelenség.

<sup>12</sup> <http://www.worldwide-military.com/Military%20Aircraft/UAV%20plaatjes/Groot/Luna%20UAV.jpeg>

A légi jármű súlya kevesebb, mint 40 kg, szárny-fesztávolsága 4,17 m, hossza 2,36 m, magassága 0,87 m, 6 órát képes a levegőben tartózkodni, repülési sebessége 70 km/h, optimális repülési magassága 3500 m.<sup>13</sup>

Az Airbus 300-600R, két sugárhajtóművel felszerelt, nehéz turbulencia kategóriába tartozó légi jármű. Utazósebessége 900 km/h maximális felszálló súlya 170 500 kg. A szárny fesztávolsága 44,84 m, hossza 54,08 m, magassága 16,62 m. Leszálló sebessége 130 kts.



3. ábra Ariana Airbus 300-600R típusú repülőgép

A repülőesemény elemzéséhez a továbbiakban magyarázatul a légi járművezető és a légiforgalmi irányító között zajlott rádiólevelezés szolgál.

### Rádió közleményváltás a pilóta és a repülőtéri irányító között

Transcription of radio transmissions between the Tower and Ground Controller and the pilot of Airbus A 300 ...on August 2004.

A rádióforgalmazás felvétele a Tower, a Ground irányító és az A300 pilótája között, 2004 augusztus.....

Times in UTC.

Az idő UTC-ben

Pilot: “Kabul Tower ABC 100 good morning”  
„Kabul Tower ABC 100, jó reggelt”

Tower: “ABC 100 Kabul Tower good morning, go ahead”  
„ABC 100 Kabul Tower jó reggelt, adja a közleményét”

Pilot: “From Delhi to Kabul maintaining FL280, ETA<sup>14</sup> Kabul at ...36, 84 DME to Kabul requesting landing information.”

Pilot: „Delhiből Kabulba, FL 280-on repülünk, ETA (Számított érkezési idő) óra 36-kor, 84 mérföldre Kabultól, leszállási információkat kérünk.

Tower: “ABC 100 RWY 29 in use wind 330 at 05 knots, CAVOK Temperature 26 Dew

<sup>13</sup> <http://www.emt-penzberg.de/index.php?id=15&L=1>

<sup>14</sup> ETA – Estimated Time of Arrival



- point -02 QNH 1016 report when released by Bagram.”  
Tower: „ABC 100, a használatos futópálya 29, a szél 330° 5 csomó, CAVOK, hőmérséklet 26 °C, harmatpont 2 °C, QNH 1016, jelentkezzen, ha Bagram átadja.
- Pilot: “Roger, landing information copied RWY 29 QNH 1016 call you when released by Bagram ABC 100 ”  
Pilot: „Nyugtázom, vettem a leszállási információkat, a futópálya 29-es, a QNH 1016, hívom ha áttérést kaptam Bagramtól.
- Pilot: “Kabul Tower ABC 100, 15 DME to Kabul out of 10500 feet descending VFR RWY inside ”  
Pilot: „Kabul Tower ABC 100, 15 mérföld távolságra Kabultól, 10500 lábat elhagytam süllyedőben VFR szerint, a pályát látom.
- Tower: “ABC 100 confirm coming from the East?”  
Tower: „ABC 100, erősítse meg, hogy keletről érkezik”
- Pilot: “Affirmative”  
Pilot: „Megerősítem”
- Tower: “Roger ABC 100 continue straight in approach RWY 29 report 10 NM inbound.”  
Tower: „Nyugtázom ABC 100, folytassa a bejövételt egyenesből a 29-es pályára, jelentse a 10 tengeri mérföldet”
- Pilot: “Roger continue straight in approach for RWY 29, call you 10 NM ABC 100.  
Pilot: „Nyugtázom, folytatom a bejövételt egyenesből a 29-es pályára, hívom 10 tengeri mérföldnél, ABC 100”
- Tower: “ABC 100 report person on board?”  
Tower: „ABC 100 jelentse a fedélzeten lévő személyek számát!”
- Pilot: “Total on board 103.”  
Pilot: „A fedélzeten 103-an vannak”
- Tower: “103 copied and be advised we have UAV activity about 4 E-SE of the field on the altitude 1000 feet AGL and it’s slightly south of the RWY centreline.”**  
Tower: 103 fő, vettem és tájékoztatom, hogy UAV repülés van 4 mérföldre kelet-délkeleti irányban a repülőtértől, 1000’ földfelszín feletti magasságon, a pálya tengelyéhez közel.
- Pilot: “Copied ABC100.”  
Pilot: „Vettem ABC 100”
- Tower: “ABC 100 report distance.”  
Tower: „ABC 100 jelentse a távolságát”
- Pilot: “5.5 DME to Kabul long final 1500.”  
Pilot: „5,5 mérföldre Kabultól a hosszú egyenesen, 1500’ magasan”
- Tower: “ABC 100, roger continue approach give you the landing clearance in a minute.”  
Tower: „ABC 100, nyugtázom, folytassa a bejövételt, egy perc múlva adom a leszállási engedélyt”
- Pilot: “Roger continue approach for RWY 29 ABC 100.”  
Pilot: „Nyugtázom, folytatom a bejövételt, ABC 100”
- Tower: “ABC 100 check gears down, cleared to land RWY 29, wind from the North 5 knots.”

Tower: „ABC 100, ellenőrizze a futókat, engedélyezve a leszállás a 29-es pályára, a szél északias 5 csomó”

Tower: “ABC 100 did you copy?

Tower: „ABC 100, vette?”

Pilot: “Say again!”

Pilot: „Ismételje!”

Tower: “ABC 100 check gears down, cleared to land RWY 29, wind from the North 5 knots.”

Tower: „ABC 100, ellenőrizze a futókat, engedélyezve a leszállás a 29-es pályára, a szél északias 5 csomó”

Pilot: “Roger a..a..a cleared to land copied ABC 100.”

Pilot: „Nyugtázom, ö...ö...engedélyezve a leszállás, vettem, ABC 100”

Tower: “ABC 100 vacate RWY via C.”

Tower: „ABC 100 szabadítsa fel a pályát a C gurulóúton”

Pilot: “Roger vacating on C ABC 100”

Pilot: „Nyugtázom, felszabadítom a pályát a C gurulón, ABC 100”

Tower: “Did you see the UAV plane on short final?”

Tower: „Látta a UAV-t a végső egyenesen?”

Pilot: “I have an incident report, please copy that: About 4 miles from touch down the same level an A/c or glider something it was the same level and we missed it only about 50 feet about 10 meter nearly the A/C.”

Pilot: „Jelentek egy eseményt, kérem, vegye: 4 mérföld környékén a leszállás helyétől azonos magasságon egy repülőgép vagy vitorlázó, ugyanazon a magasságon volt és kb. 50 lábba, 10 méterre volt tőlünk a repülőgép”



4. ábra A fotót a LUNA UAV fedélzeti kamerája rögzítette<sup>15</sup>

Tower: “ABC 100 copied.”

Tower: „ABC 100 vettem”

Pilot: “That’s copied is not enough, nearly we will crashed and I repeat again it was about 10 away from us.”

<sup>15</sup> [www.msquair.files.wordpress.com/2011/05/228071\\_209808862392938\\_100000914769420\\_587923\\_3929076\\_n.jpg](http://www.msquair.files.wordpress.com/2011/05/228071_209808862392938_100000914769420_587923_3929076_n.jpg)





Pilot: „A vettem nem elég, mi majdnem összeütköztünk és újra elismétlem csak 10-re volt tőlünk.”

Tower: ABC 100 I gave you UAV activity information about 4 NM E-SE of the field slightly south of the centreline on the altitude 1000 feet AGL.”

Tower: „ABC 100, Tájékoztattam Önt az UAV repülésről körülbelül 4 mérföldre kelet-dél-keleti irányba a tengelytől, 1000 ' földfelszín feletti magasságon”

Pilot: „It was not south of the centreline it was lined up with the RWY and we did not know about that and last minute we saw it and we couldn't do anything it was very close just accidentally we missed the plane.”

Pilot: „Ez nem a tengelytől délre volt, hanem a tengelybe feljött, amiről mi nem tudunk, és az utolsó pillanatban mikor megláttuk, már semmit sem tudtunk tenni, nagyon közel volt hozzánk, éppen hogy össze nem ütköztünk a repülőgéppel”

Tower: “ABC 100 do you need any assistance right now?”

Tower: „ABC 100, szüksége van most valamilyen segítségre?”

Pilot: “Negative everything is normal but it was only 10 to 15 meters away from us.

Pilot: „Nem, már minden rendben van, de az csak 10-15 m-re volt tőlünk.”

Tower: “ABC 100 contact ground 120.3”

Tower: „ABC 100 kapcsoljon a 120,3 –ra”

Pilot: “120.3 thanks.”

Pilot „120,3 köszönjük”

## Rádió közleményváltás a pilóta és a gurító irányító között

Rádió közleményváltások a Gurító irányító (Ground) és a Pilóta között.

Ground: “ABC 100 with me?”

Ground: "ABC 100 itt van?”

Pilot: “Yes sir we are with you.”

Pilot: „Igen Uram, itt vagyok.”

Ground: “Say the circumstances, actually did you colluded into this UAV or you had only the UAV inside in a very close proximity or maybe you only hit only with your turbulence?”

Ground: „Mondja el a körülményeket, lényegében összeütközött ezzel az UAV-vel vagy nagyon közeli távolságra került tőle, esetleg az repülőgép által keltett turbulencia ütötte le a UAV-t?”

Pilot: “Actually we were lined up with the RWY from 12- 13 miles we had the RWY inside and we are coming exactly on glide path towards the RWY, when we were about 3.5-4 NM out of the RWY the altitude was about 7100 and suddenly we saw an object, it was 2 wing A/C..... we saw it in the last moment we couldn't do nothing, just it was on the same glide path of the A/C and on the extended centreline of the RWY and we missed the A/C I believe between 10 to 15 meter /just we would like ?/ we missed the A/C otherwise we will have crash with that A/C.

Pilot: Szóval 12-13 mérföldön csatlakoztunk a végső egyenesre és láttuk a pályát, pontosan a sikló pályán közelítettünk a pálya felé, amikor kb 3,5-4 mérföldre a pályától olyan 7100' láb magasan, hirtelen megláttunk egy tárgyat, aminek két szárnya volt olyan repülőgép féle.....az utolsó pillanatban láttuk meg és már nem tudtunk semmit tenni, ugyanazon a sikló pályán volt a tengely meghosszabbításában és mi kb.

10-15 m re kerültük el, azt hiszem (szeretném hinni), elkerültük, egyébként összeütköztünk volna vele.

Ground: “ABC 100 just to confirm, you did not collude into this A/C you just missed at the last time?”

Ground: „ABC 100, erősítse meg kérem, hogy nem ütközött össze vele és az utolsó pillanatban elkerülte.”

Pilot: “We saw the A/C .....? very close distance and we couldn’t do nothing but we only take an action we crossed each other.”

Pilot: „Mi láttuk a repülőgépet.....nagyon közel és nem tudtunk semmit sem tenni, de tettünk egy mozdulatot és elkereszteltük egymást.”

Ground: “That’s roger and you didn’t feel any collusion or sound or anything like that?”

Ground: „Rendben, nyugtáztam, és éreztek valamilyen ütközést vagy hasonló?”

Pilot: “No we did not have...we did not see on the TCAS<sup>16</sup> also because I think I believe it did not have any transponder that’s why we did not see that’s why we did not have TCAS alert but that we saw by own eyes very close distance almost on the same altitude and the position was only on the extended centreline of the RWY about 7200 feet.”

Pilot: „Nem, nem volt...nem láttunk semmit a TCAS-en sem, habár annak a gépnek gondolom nem volt transzpondere, ezért nem láttuk meg és ezért is nem jelzett be a TCAS, pedig mi a saját szemünkkel láttuk nagyon közel és azonos magasságon, és pozícióban a tengely vonalában 7200’ magasan.”

Ground: “ABC 100, roger.”

Ground: „ABC 100, nyugtáztam”

Pilot: “10 to 15 meters it was to the south we saw to our left.

Pilot: „10-15 m –re volt tőlünk délre, és balra láttam a gépüktől.”

...42 Ground: “Roger”

...42 Ground: „Nyugtázom”

## MEGÁLLAPÍTÁSOK

A közleményváltásokat végigolvasva, több megállapítás és következtetés is levonható. Egyrészt, mivel a légiforgalmi irányító tájékoztatást közölt a körzetben repülő UAV-ről, így a feladatról a pilótának tudomása volt. A repülőeszköz magasságáról és tevékenységének körzetéről is informálta a repülőszemélyzetet. Ez az információ, mivel a UAV-n valóban nem volt transzponder, nem lehetett pontos. Valószínűleg az irányítás is egyéb koordináció útján kapott erről a feladatról tájékoztatást és az UAV mérete miatt ő sem láthatta. Az ATC a tájékoztatást időben közölte a gépszemélyzettel, mivel azok akkor még csak 5,5 mérföldön voltak, és csak utána kapták meg a leszállási engedélyt. A tájékoztatás és az leszállási engedély kiadásának sorrendje valószínűleg tudatos az irányítás részéről, mert ha a személyzet már engedélyt kap a leszállásra, akkor a manőver végrehajtásával van elfoglalva és nyilván jogosan feltételezi, hogy azért adták ki az engedélyt, mert semmi akadálya nincs a leszállás végrehajtásának.

A továbbiakban az is kiderül, hogy a légi jármű vezetője egy nyugtázással tudomásul vette a

<sup>16</sup> Traffic Collision Avoidance System

UAV repülésről szóló tájékoztatást. A rádiólevelezés szabályai szerint a tájékoztatásokat nem kell visszaismételni, csak nyugtázni, ezzel jelezve, hogy megértették azt. Azonban hamarosan az is kiderül, hogy nem értették meg, miről is szólt a tájékoztatás. Mivel a leszállás után, szóban repülőeseményt jelentenek, ahol egy valamilyen repülőgépről vagy vitorlázó-repülőgépről van szó. A veszélyes megközelítés tényén az ugyan nem változtat, hogy az az UAV a leszálló pálya tengelyében volt, holott attól kelet, dél-keleti irányban kellett volna repülnie. Azonban ha a személyzet tudja mit keressen a levegőben, vagyis mit értsen „UAV activity” kifejezés alatt, nem érte volna sokkhatásként őket a hirtelen feltűnő légi jármű.

A légiforgalmi irányítás aznapi szolgálati személyeinek előjárója a váltás parancsnoka, vagyis a „Supervisor” volt, akinek mérlegelnie kellett, hogy a UAV repülési feladata, az adott térségben és magasságon milyen veszélyekkel járhat. Valószínűleg azért engedélyezte mégis, mert abban az időszakban nem volt jellemző a nagy érkező és induló forgalom- végül is csak arra az egy érkező gépre kellett számítani. Másrészt repülőszemélyzetek előzetes tájékoztatása érdekében a repülőterek körzetében, a normálistól eltérő jellegű feladatokról, munkálatokról a Légiforgalmi Tájékoztató Szolgálat NOTAM<sup>17</sup>-ot ad ki. Így a személyzetet a repülésre való felkészülése során is tájékoztatják.

Egy hadműveleti területen lévő repülőtér esetében nyilván nem lehet maradéktalanul az ICAO nemzetközi irányelveit és szabványait figyelembe venni, mely szerint azok a légi járművek amelyek nem szabványosított érkezési és indulási profilok szerint repülnek, közzétett irányok és magasságok betartásával, azoknak a feladataikra külön légteret kell biztosítani. Ezzel is biztosítva a feladatuk végrehajtását és az egyéb forgalmaktól való biztonságos távolságot. Ahogy már az előzőekben említettem a repülőtér katonai forgalmat is kiszolgál, melyek eljárásai szintén nem találkoznak a szabvány ICAO indulási és érkezési eljárásokkal.

Azonban a légiközlekedés biztonsága egy ilyen repülőtéren is elsődleges, melyet napról napra változó korlátozásokkal és szabályozásokkal valósul meg a légiforgalom szervezésében. Így ebben az esetben is elképzelhető lett volna, hogy csak 11-es pályát használják a fel és leszállások végrehajtására, amíg a UAV repül, hiszen az időjárási és szélviszonyok ezt lehetővé tették. Természetesen ez is csak csekély forgalom mellett kivitelezhető, mert egyébként komoly késéseket okoz.

Nagy segítség lett volna az irányító számára, ha az UAV fel van szerelve fedélzeti válaszjeladóval. A transzponder hiánya pótolható valamelyest a szoros koordinációval, vagyis, hogy nem csak a feladat kezdéséről és befejezéséről kap az irányító torony tájékoztatást, hanem meghatározott időközönként megadják a pozícióját, ami egy ellenőrzött légtérben 5 perc vagy ahogy a *Supervisor* meghatározza.

Összességében, mint a legtöbb esemény bekövetkezéséhez is több ok, jelen esetben hiányosság vezetett. Egyrészt a UAV repülésének a kontrollálására, ami a légiforgalmi irányító toronyot illeti, nem volt megfelelő, másrészt a polgári légi jármű vezetője nem értékelte megfelelően a tájékoztatást, mivel elsiklott felette ahelyett, hogy tisztázta volna mit is mondtak neki.

---

<sup>17</sup> NOTAM - Notice To Airmen (bármely légiforgalmi berendezés, szolgálat, eljárás létesítéséről, állapotáról, változásáról vagy veszély fennállásáról szóló értesítés, amelynek idejében történő megismerése elengedhetetlenül szükséges a repülésben érdekelt személyzet részére).

Figyelemfelkeltés céljából az irányító a tájékoztatásra vonatkozó közleményét kezdhette volna a „*Traffic is an UAV in the vicinity of...*”, mert ebből a pilótának egyértelműen tudnia kell, hogy milyen forgalmat keressen.

E rövid ismertetőből is látszik, hogy számtalan feltételnek kell megfelelnie ahhoz, hogy egy UAV pilóta által vezetett légi járművekkel közös légtérben – kizárva minden jelentkező kockázatot – repüljön. Napjainkban az UAV-k polgári légtérekben történő repülése már nem hat az újdonság erejével, bár ezeknek a repüléseknek jó része, a lakott területektől és a repülőterektől még távol eső, kisszámú légi forgalom mellett valósul meg.

Az NKE Katonai Repülő és Légvédelmi tanszékének oktatói tovább folytatják az UAV-k jogszabályi háttérének kimunkálását, melynek szerves részét képezik, ezen eszközök repülőterek környezetében történő működéséhez kapcsolódó eljárások és szabályok kidolgozása is. Az ezzel kapcsolatos elemző és szintetizáló munkát az



***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

*A kutatás a projekt „Adatintegráció” alprogramján belül „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” kiemelt kutatási területén kerül kidolgozásra..*

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] NATO: ATP-40 (C) Doctrine for Airspace Control in Times of Crisis and War
- [2] MH ÖHP LEP: A légtérelőirányítás és a légi hadműveletek harcászati irányításának elvei (MH DSZOFT kód: 13011), Veszprém, 2005
- [3] PALIK M.: Pilóta nélküli légi jármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben, PhD értekezés, 2007, Budapest
- [4] PALIK M.: Pilóta nélküli repülés - légi közlekedésbiztonság, "Repüléstudományi Konferencia 2008 - 70 éves a légierő", Szolnok, 2008



Farkasinszki Mariann<sup>1</sup>

## A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSAI, RÉSZLETESEN KITÉRVE A MEZŐGAZDASÁGRA<sup>2</sup>

### *Rezümé*

*Mostanában sokat olvashatunk a globális klímaváltozásról, a globális felmelegedésről, a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedéséről. Földünk története során az éghajlat állandóan változott, ez várhatóan a jövőben is így lesz. A geológiai, az őslénytani és a régészeti kutatások igazolják, hogy az utóbbi 500 millió évben a maitól lényegesen eltérő időjárások is előfordultak. Az átlagosnál jóval melegebb időjárást váltotta a jégkorszak és fordítva. Kiseb éghajlat-ingadozások az elmúlt évszázadokban is voltak, amit az írásos feljegyzések is igazolnak.*

### **THE INFLUENCES OF GLOBAL WARMING, TO EXPLICATE THE AGRICULTURE**

### *Resume*

*Nowadays, we can read more about the global warming and about the extreme weather and the influence of it. During the history of the Earth, the climate always changed and it will be the same in the future. The exploration of palaeontology and archaeology show us that, in the last 500 million years, we had more extreme weather than nowadays. Earth had more warmer weather than the average, and Earth had so-called „ice age” which had robustious winter. It had smaller weather-changing, which we read about entries.*

A mostani felmelegedés kismértékű a korábbiakhoz képest, de a jelentőségét nem szabad lebecsülni. Korábban a klíma változásainak okai természetes eredetűek voltak, de az ipari forradalom óriási változást hozott. A globális felmelegedés legfőbb oka az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése a légkörben (szén-dioxid, metán, vízgőz stb.).

Ebben a cikkben szeretném ismertetni a globális klímaváltozás hatásait, részletezve a mezőgazdaságra kiható következményeivel. Véleményem szerint, azért kell feltétlen kiemelni ezt a területet, mert a mezőgazdasági termelést egyszerűen nem lehet nélkülözni a mindennapjainkból, beleértve a növénytermesztést, az állattenyésztést, erdőgazdálkodást.

### **Mi a klímaváltozás?**

A klímaváltozást és a globális felmelegedést gyakran használják szinonim fogalmakként, mivel a napjainkban zajló éghajlati változások - globális légköri átlaghőmérséklet növekedése, csapadék mennyiségének és eloszlásának változása, valamint a légköri áramlások átalakulása – leginkább szembeűnő, legjobban mérhető és legtöbbet kommunikált része az emberi tevékenység okozta globális felmelegedés.

Az éghajlatváltozás természetes folyamat, az adott területre vonatkozó átlagos időjárási tényezők az idők folyamán állandóan formálódnak. Az utóbbi évek tudományos kutatásai és a klímaváltozás jelenségeivel és következményeivel kapcsolatos vizsgálatok azonban azt mutat-

<sup>1</sup> hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem HHK, farkasinszkiMariann@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Padányi József egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

ják, hogy az ipari forradalom óta egyre gyorsuló **globális felmelegedés** – és a vele együtt járó éghajlati és környezeti hatások – az emberi tevékenységek, de leginkább az ásványi eredetű fűtőanyagok – mint a szén, az olaj, a természetes gáz - elégetésének következménye. (A múlt században a globális átlaghőmérséklet: 0,6°C-kal emelkedett, míg a kontinensünk középhőmérséklete közel 1°C-kal növekedett. Ha bolygónk hőmérséklete az iparosodás előtti szintnél több mint 2°C-kal magasabb lesz, az éghajlatváltozás visszafordíthatatlanná válik, és súlyos hosszú távú következményei lesznek.

A globális klímaváltozás intézményének manapság rendkívüli jelentőséget tulajdonítunk, hiszen másról sem szól a sajtó, csak a szélsőséges, extrém időjárások gyakoriságáról, az évszakok eltolódásáról, a gleccserek elolvadásáról, az óceánok savasodásáról és felmelegedéséről. A klímaváltozás mindig jelen volt a Föld történelmében, hol kisebb fokú (lassabb), hol a nagyobb fokú (gyorsabb) változás jellemezte éghajlatait. A jelenlegi állapot abban tér el az előzőektől, hogy az emberi tevékenység nem csak a mikro,- és makroklimára van hatással, hanem ez már globális mértéket öltött, ami befolyásolja az éghajlat változását.

Az éghajlatváltozás konkrét tényekkel igazolható és az élet szinte minden területére hatással van. A globális felmelegedés a légkörben található üvegházhatású gázok (vízgőz, szén-dioxid, metán, nitrogén-oxid) koncentrációjának változásával függ össze.

Az atmoszférában természetes módon is jelen levő gázok felelősek az ún. *üvegházhatásért*, amely megakadályozza, hogy a Nap sugarainak egy része visszaverődjön a világűrbe, így üvegház módjára „melegen tartják” a Földet. Ezek a gázok nagyobb és koncentráltabb mennyiségben azonban több visszaverődő sugárzást nyelnek el, így mesterségesen magas szintre emelik a globális átlaghőmérsékletet és éghajlati változásokat idéznek elő.

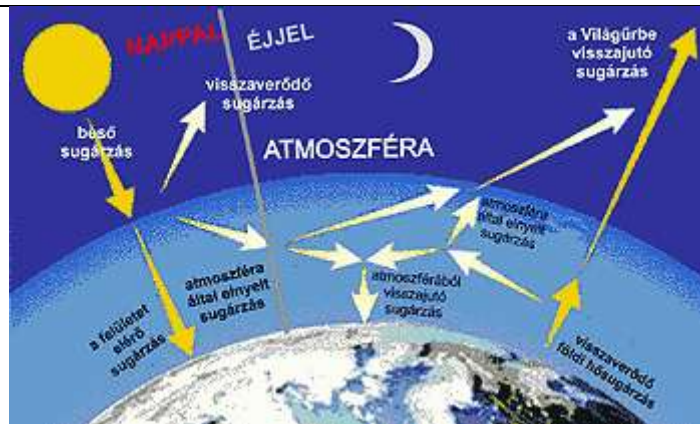
### **Mit jelent az üvegházhatás? És hogyan kötődik a globális felmelegedés kérdéséhez?**

Üvegházhatásnak nevezzük azt a jelenséget, amely során a napsugárzás be tud hatolni a Föld légkörébe, a felszínről visszasugárzott energia egy része azonban nem jut ki belőle, mert a légkörben megtalálható por és üvegházhatású gázok nem engedik ki. Az üvegházhatás kialakulásának meghatározó mozzanata az, amikor a visszaverődés során az energia jellege megváltozik: fényből hőenergia lesz. A hőenergia egy része pedig bennreked, ezért a légkör felmelegszik.

Az emberi tevékenység megnöveli a káros gázok mennyiségét a légkörben, hozzájárulva az üvegházhatás erősödéséhez.

Ezen gázok közé tartozik:

- fosszilis üzemanyagok égetéséből és az erdők pusztulásából származó szén-dioxid;
- a rizsültetvényeken és szemétkukákban keletkező metán,;
- valamint számos iparilag előállított vegyi anyag.



1. ábra Az üvegházhatás (kép: Carbon Central)

## A klímaváltozás rövid története

Az elmúlt években már tudományosan is igazolták azt a régi sejtést, hogy létezett egy középkori meleg periódus. Ez a nagyjából 500 éves – 800 és 1300 közötti – időszak olyan meleg volt, hogy a vikingek letelepedtek Grönlandon, és eljutottak Amerikába is. A meleg periódust rövid átmenet után a "kis jégkorszakként" emlegetett évszázadok követték. Ez a tizenhatodik századtól nagyjából 1850-ig tartott, és kemény, hosszú telek kísérték (1780-ban például befagyott New York kikötője).

Érdekes, hogy a vadabb elméletek már ezeket a változásokat is az emberi beavatkozáshoz kötik. William Ruddiman paleoklimatológus szerint már a 8000 évvel ezelőtti erdőirtások is meglátszottak az éghajlat alakulásán, holland tudósok nemrég közölt tanulmánya pedig úgy tartja, a kis jégkorszak oka az volt, hogy a pestisjárványokat követően az erdők nagy területeket hódítottak vissza. A XIX. század második felében a felszín és az óceánok átlaghőmérséklete 0,75 Celsius-fokkal emelkedett. Megoszlanak a vélemények, hogy ezért az iparosodás okolható, vagy a kis jégkorszak természetes utóhatásaként könnyvelhetjük el. Az viszont igaz, hogy a felmelegedés felgyorsult a XX. században, különösen az utolsó negyedében.

## A felmelegedés okai

A globális felmelegedés számos emberi tevékenység közös eredménye. Ennek értelmében meg kell különböztetünk közvetlen és közvetett okokat. Közvetlen okok közé tartoznak a természeti okok, például: a légkör megnövekedett szén-dioxid koncentrációja az üvegházhatás miatt közvetlenül felfűti a levegőt, ami magasabb hőmérsékleten több vízpárát vesz fel. Ezzel növekszik a hőelnyelés mértéke is, ami a vízpára további felvételét idézi elő, de közvetlen globális klímaváltozási okokhoz soroljuk a jégtömbök olvadását is, hiszen a jég fehér felületként veri vissza a Nap sugarait, és ahogy olvad, helyét a hőt lényegesen jobban elnyelő tenger vagy szárazföld foglalja el. Ettől gyorsabban olvadnak a jégfelületek, és öngerjesztő folyamat alakul ki.

A felmelegedés közvetett okai közül „első helyre” az esőerdők irtását sorolnám, hiszen az esőerdőket jelenleg óriási mértékben irtják, ami az üvegházhatás egyik fő okozója. Az esőerdők égetéses irtása során az égéssel szén-dioxidtömeg jut a levegőbe. Amikor az erdőket kivágják és fölégetik, az elraktározott szén CO<sub>2</sub> formájában kerül vissza a levegőbe. Közvetett

okokként sem feledkezhetünk el például: az ózonkoncentráció csökkenéséről, a napállandó változásáról, vulkáni tevékenységről, óceáni vízkörzészről.

*Összegezve:* a legjelentősebb globális felmelegedési okok: az elektromos energia termelése, a haszonállat tartás (hústermelés) a személyszállító és egyéb járművek használata, a túlfogyasztás, a nemzetközi szállítás, az erdők kitermelése, a füst kibocsátás és a hadviselés (az Egyesült Államok hadereje például a világ legnagyobb olajfelhasználója és legnagyobb szennyezője).

## **A globális felmelegedés hatásai**

Az IPCC kutatóinak általános előrejelzései szerint a szárazföldek hőmérsékletének növekedése nagyobb mértékű lesz, mint a tengereké, ami a napfény-visszaverő képességükkel magyarázható. Az Északi-sarkvidéken elsősorban a téli átlaghőmérséklet fog növekedni. Az éjszakai átlaghőmérsékletek növekedése meg fogja haladni a nappali középhőmérsékletekét. Az hatalmas mértékű olvadás miatt, az Atlanti Óceánba több édesvíz kerül, ami az lehet a következménye, hogy a Golf-áramlás lelassulhat, irányt változtathat vagy akár meg is szűnhet. Jogos a kérdés: miért okozhat ez gondot? A válasz: emiatt a „természeti fordulat” miatt Észak-Európa téli átlag középhőmérséklete 10°C fokkal is kevesebb lehet!

A globális felmelegedés következő hatása, amikor szárazföldi jégtakaró elolvad, és mivel a magasabb hőmérsékletű tengervíznek nagyobb a térfogata ezt azt eredményezi, hogy a tenger szintje meg fog emelkedni. A víz szintemelkedése elsősorban a kisebb szigetországokat és az alacsonyabban fekvő tengerparti területeket érinti. Veszélyeztetve van például: Hollandia, Florida, Málta, Fidzsi-szigetek stb. Egyes becslések szerint, ha Grönland összes jége elolvadna, hat méterre nőne a tengerszintmagassága, ami azt jelentené, hogy Floridát és Hollandiát elöntené a tenger, nem beszélve a számos kiköltöztetésekről pl. Peking, Sanghaj illetve Banglades területeiről.

A gleccserek olvadása is a klímaváltozás jelentős hatásai közé sorolandó, hiszen, ha ezek méretei csökkennek, vagy a gleccserek teljes mértékben elolvadnak, az óriási problémát jelent az ivóvíz ellátásban és a termelőföld megöntözésében egyaránt. A globális felmelegedés további hatásai közé soroljuk a fent említett tényezőkhöz kívül például:

### **Biológia hatások:**

- a jégmezők fokozatos olvadásával beszűkül a jegesmedvék vadászterülete, ami azt eredményezi, hogy nem jutnak táplálékhoz. Ennek olyan kihatása lesz az állat szervezetre, hogy nem tud elegendő zsírréteget felhalmozni a „szűkösebb időkre”, így az állat meghal;
- a vándormadarak a globális felmelegedés áldozatai. Fészekaljuk elpusztul, hiszen a fagyott talajra rakják, arra a területre, ami a hőmérséklet emelkedésére felolvad;
- egy tanulmány kimutatta, hogy 18% és 35% közötti az esélye, hogy 1103 állat- és növényfaj 2050-re várhatóan kihal az éghajlatváltozás következtében, mert nem bírnak elég gyorsan alkalmazkodni az új körülményekhez.

### **A globális felmelegedés mezőgazdaságra gyakorolt hatása**

A mezőgazdaság, és így az élelmiszer biztonság, az a tevékenységi kör, amit rendkívül érzékenyen érint az éghajlatváltozás, hiszen közvetlen hatással van a termelésre. A felmelegedés hatá-



sára, a legszélsőségesebb eredmények is tapasztalhatók, mind negatív, mind pozitív irányban. (Bőséges, jó minőségű mezőgazdasági produktum, szemben a csapnivaló, rossz minőségűvel).

A klímaváltozás hatásait, három jól elkülöníthető ágazat mentén lehet vizsgálnunk:

- I. a növénytermesztésre;
- II. állattenyésztésre;
- III. illetve az erdő,- és vadgazdálkodásra.

### A növénytermesztés

A mezőgazdasági termelésben, a globális klímaváltozás hatására növekednek a szélsőségek, ami azt eredményezi, hogy kiszámíthatatlanná válik, mikor mennyit tudunk, egy adott növényből termelni. A szántóföldi növénytermelésben a jövő kulcskérdése a csapadék befogadása és megőrzése, a szárazságot, esetenként a nagy csapadékot figyelembe vevő talajművelés, valamint az öntözés bővítése.

A hatékony szántóföldi növénytermelés lehetőségei:

- a termő helyi adottságokhoz és a növény igényeihez igazodó technológia;
- szárazságtűrő fajták illetve a szélsőséges időjárást jól tűrő fajták bevonása a termelésbe;
- nemesítés;
- a helyi adottságokhoz jól alkalmazkodó fajták használata;
- a növénytermelési szerkezet aránymódosításai;
- kedvezőbb vetésváltási feltételek előmozdítása.

A hatékony termelés lehetőségeinek felsorolásánál, sajnos nem mehetünk el a mellett a tény mellett, hogy a hatékony termelés érdekében nagyobb beruházással és csökkentett gépkiszolgálással kell számolnunk, ami elkerülhetetlenül költségnövekedéssel jár.

### Növény,- talajvédelem

Az eddigi tapasztalatok és kutatások alapján várható, hogy a klímaváltozás következtében új kórokozók, kártevők, gyomok jelenhetnek meg. Ezek a hagyományoshoz képest lényesen agresszívebbek és tömeges megjelenésük is valószínűsíthető. A növényi betegségek, a kártevő állatok és a gyomnövények elleni védekezésben a precíziós technika, valamint a gyomnövénytan eredményeinek elterjesztése a cél. Így kevesebb hatóanyag, vegyszer kerül kijuttatásra. A biológiai védekezés felkarolása is égetően fontos teendő a felkészülésben.

A melegedés, szárazság érzékenyen érinti a tápanyagok hasznosulását. Az eddigi gyakorlatban az aszálykárok megelőzésének egyik eszköze a műtrágyázás volt, de a kísérletek azt bizonyítják, hogy tartós aszályban a műtrágya hasznosulás lecsökken, több növénynél pedig termés-csökkenés lehet.

A talajhasználat tökéletlensége (hiányos művelés, trágyázás vagy növényvédelem) esetén a klimatikus tényezők kedvezőtlen hatása fokozottabb, és a veszteség nagyobb. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a tartós szárazság kára kimutathatóan súlyosabb a fizikai és biológiai állapotukban leromlott, tápanyagban elszegényedett talajokon.

Aszályban a tápanyagbőség hátrányos tápanyag-koncentrációt eredményezhet. Gyengébb termőképességű termőhelyeken felértékelődik a vetésváltás, a vetésforgó, a zöld-trágyázás szerepe. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a tartós szárazság kára lényegesen súlyo-

sabb a fizikai és biológiai állapotukban leromlott és táp-anyagokban elszegényedett talajokon. Fordítva viszont megállapítható, hogy a talajok jó fizikai és biológiai kondíciója javítja a termőhely aszálytűrő képességét.

### Állattenyésztés

A klímaváltozás hatásai számtalan kérdőjelet vetnek fel az állattartásban, az állattenyésztésben, az állati termékek előállításában, az egyes belföldi igények kielégítésében és az exportban. A válaszok nem egyszerűek, viszont aktuálisak és sürgetőek, hiszen a lecsökkentett állatállomány, a természetes hatékonysági mutatók kedvezőtlen alakulása, a technikai-technológiai feszültségek, az elhanyagolt legelők jelzik a megoldásra váró feladatok összetettségét.

Mindezt súlyosbították az utóbbi évek hőségnapjai és csapadékhiányai, melyek megviselték az állatokat, rontották a szántóföldi takarmányok és gyepek hozamait, valamint minőségét, továbbá rávilágítottak az épületek, technológiák, valamint a takarmányozás hiányosságaira.

A gabonára alapozott állattartást a meleg-száraz tendencia erősödése kevésbé érinti hátrányosan, a fajlagos hozamok csökkenése és a takarmányok esetleges minőségromlása ellenére. Az abrakfogyasztó állatállomány csökkenése miatt, jó időjárás esetén gabonafeleslegek halmozódnak fel és okoznak jelentős értékesítési, szállítási, tárolási problémákat. Ilyen esetekben a megoldás többirányú:

1. megfelelő és elegendő tároló kapacitás kiépítése, aktív piackeresés az értékesítéshez, bioenergetikai hasznosítás;
2. illetve az állatállomány növelése, hogy a gabona hússá, illetve állati terméké alakuljon át.

A klímaváltozás számos állategészségügyi problémát vet fel. Ez ugyanolyan mélyen érinti a járványtannal kapcsolatos viszonyokat, mint az állatállomány terhelhetőségét, védekezési esélyeit. Számítani kell egyes különleges paraziták vagy kártevők megjelenésére, amire nem minden állat reagál pozitívan.

Éppen ennek érdekében, tulajdonítunk a jövőben óriási jelentőséget az állategészségügyi szervezet megfelelő felkészítésére, a hatékony kezelés érdekében.

### Erdőgazdálkodás

Az erdőgazdálkodás is legalább olyan sarkalatos pontja a mezőgazdaságnak, mint az előző két ágazat. Ez a gazdálkodási típus is kizárólag ökológiai adottságokra alapozódik, és az éghajlat változása nagyban befolyásolja az erdők összetételét illetve jövedelmezőségét. Az erdőkben a csapadékcsökkenés, az aszály és a szélsőséges időjárási körülmények mind egyértelműen nyomon követhetők. Ezek jelzik a valószínűsíthető felmelegedés és szárazodás jövőbeni hatásait, s kapaszkodót nyújtanak a felkészüléshez, az alkalmazkodáshoz, a további erdőkárok mérsékléséhez.

Így például:

- csökkent a talajvízszint;
- eltűntek a felszíni kisvizek;
- a szárazság miatt a vadak az új erdősítések fiatal rügyeit, hajtásait rágják;
- megnöttek a töréskárok a szél, ónos eső, vizes hó miatt;
- megszaporodtak az erdőtüzek;

- a hirtelen lezúduló csapadék eróziós károkat okozott;
- a lelassult talajélet miatt pusztultak a kevésbé szárazságtűrő fajok;
- egyes erdei kártevők elszaporodtak.

A vegetációs övek egyes feltételezések szerint el fognak mozdulni várhatóan a zöld erdőtakaró és az erdősztyepp határvonalára, de minden bizonnyal érintik a hűvösebb csapadékosabb zónákat is.

Az erdők és általában a zöld felületek sokoldalú hatása miatt (CO<sub>2</sub> elnyelés és szén lekötés, oxigén kibocsátás, árnyékolás, pára megőrzése, esztétikai hatások, a szelek mérséklése) a légkörvédelem és az alkalmazkodás semmi mással nem helyettesíthető elemei!!!

A felkészülés egyik kulcsa a meglévő erdőállomány megőrzése, ami a természetközeli erdőművelési beavatkozások széles körű elterjesztésével, s így az erdei mikroklíma fenntartásával oldható meg erdőművelési beavatkozások széles körű elterjesztésével, s így az erdei mikroklíma fenntartásával oldható meg.

## ÖSSZEGZÉS

Munkámmal segitettem egy kisebbfajta betekintést nyerni a globális klímaváltozás intézményébe, annak hatásaiba, következményeibe. Céлом, ezek ismertetése mellett, az is, hogy járjunk nyitott szemmel, mert nem igazak, azok a gondolatok „hogy én csak egy vagyok a sok közül”, vagy „ez a kicsi úgysem számít”! De igen! Számít.

A klímaváltozás mezőgazdaságra gyakorolt hatása pedig közvetlenül érint mindenkit, hiszen az ételkészítés ellátásáról, ivóvízről a mindennapi élethez szükséges produktumokról esett szó.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cvegh%C3%A1zhat%C3%A1s>
- [2] <http://www.pmtkft.hu/eip/Klimavaltozas.pdf>
- [3] <http://muveszet-tudomany.hu/magyar/tudomany/glob-felm.htm>
- [4] [http://www.kamaszpanasz.hu/hirek/zoldovezet/745/globalis\\_felmelegedes](http://www.kamaszpanasz.hu/hirek/zoldovezet/745/globalis_felmelegedes)
- [5] <http://klima.kvvm.hu/documents/14/VAHAVAOsszefoglalas.pdf>
- [6] [http://climate.univet.hu/downloads/vahava\\_2005.pdf](http://climate.univet.hu/downloads/vahava_2005.pdf)

### ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra

[http://www.google.hu/imgres?imgurl=http://www.index.hu/cikkepek/0107/tech/uveghaz.gif&imgrefurl=http://index.hu/tudomany/klim070201/&h=210&w=350&sz=17&tbnid=dm-KQxGYbXeBwM:&tbnh=65&tbnw=109&zoom=1&docid=LTzNi-6eavZl3M&hl=hu&sa=X&ei=CehsT5iyFM3gtQb1n\\_yHAg&sqi=2&ved=0CEIQ9QEwBA&dur=413](http://www.google.hu/imgres?imgurl=http://www.index.hu/cikkepek/0107/tech/uveghaz.gif&imgrefurl=http://index.hu/tudomany/klim070201/&h=210&w=350&sz=17&tbnid=dm-KQxGYbXeBwM:&tbnh=65&tbnw=109&zoom=1&docid=LTzNi-6eavZl3M&hl=hu&sa=X&ei=CehsT5iyFM3gtQb1n_yHAg&sqi=2&ved=0CEIQ9QEwBA&dur=413)

Földi László<sup>1</sup>

## A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖVETKEZMÉNYEKÉNT MEGVÁLTOZÓ KATASTRÓFA-VESZÉLYEZTETETTSÉG<sup>2</sup>

### Rezümé

*A globális klímaváltozás ténye és a következmények súlyossága ma már tagadhatatlan. A légkör átlaghőmérsékletének lassú növekedése mellett az erősödő időjárási szélsőségek okozzák a legkomolyabb problémákat. A cikk szerzőjének célja a jelenségek feltérképezése, az elsődleges és további hatások, következmények bemutatása. A klímaváltozás által felerősödő extrémítások egyértelmű többletterhet rónak a katasztrófák elleni védekezésben érintett szervezetekre, az ezekre történő megfelelő felkészülés mind a hatékonyabb megelőzés, mind a következmények súlyosságának csökkentése érdekében kiemelt fontosságú feladat. A szerző bemutatja a klímaváltozás következményeképpen felerősödő veszélyek főbb területeit és javaslatokat tesz az ellenük történő hatékonyabb védekezés kialakítására.*

### MODIFIED DISASTER INSECURITY AS A CONSEQUENCE OF CLIMATE CHANGE

### Abstract

*The fact of global climate change and the seriousness of its consequences are already undisputed nowadays. Beside of the slow increase in temperature of the Earth's atmosphere the main problem is caused by the growing weather extremities. The aim of the author is to map these phenomena and introduce their primary and additional consequences. It is clear that more frequented and heavier extremities cause additional demand to disaster management organisations, and appropriate preparedness both for more efficient prevention and mitigation of consequences' seriousness are tasks of paramount importance. The author describes the main areas of emerging danger due to climate change and makes suggestions in order to form a more effective defence against them.*

## BEVEZETÉS

A biztonság számos elemére és területére gyakorolhat lényeges hatást a klímaváltozás (mint pl. az infrastruktúra, a honvédség, a rendvédelmi szervezetek, a katasztrófavédelem erői, a mentők és a tűzoltóság, továbbá a létfontosságú (kritikus) infrastruktúra egyes egyéb elemei). A klímaváltozás elsődleges és további következményei veszélyeztethetik hazánk és a környező régió stabilitását, tehát biztonsági szempontok is óhatatlanul felmerülnek.

A klímaváltozás elsődleges következményeként jelentkező időjárási szélsőségek illetve ezek gyakoribbá és hevesebbé válása (viharok, hőmérsékleti extrémítások, extrém csapadék) egyre több plusz feladatot és terhet jelentenek a katasztrófák következményeit elhárító, kárfelszámoló szervek számára (közlekedés-szabályozás, komplex műszaki mentések, biztosítási feladatok, kitelepítés, életmentés, stb.).

A másodlagos következmények fokozottabb előfordulásai (ár és belvíz, sárfolyam, földcsuszamlás, aszály, elsivatagosodás, intenzív tüzek, robbanásveszély fokozódása, kritikus infrastruktúra sérülése, közüzemi és egyéb ellátó szolgáltatások zavarai, hiányhelyzetek kialakulása,

1 Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztviselőképző Kar, foldi.laszlo@uni-nke.hu

2 Lektorálta: Padányi József, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

társadalmi működési zavarok a pénzügyi, gazdasági, közigazgatási szférákban, stb.) szintén egyre nagyobb erőket kötnek le a védekezési munkálatokhoz.

A megváltozó klíma következményeiként teret nyerő „újfajta” egészségi ártalmak, így vírusos, bakteriális fertőzések (pandémiák, járványok), gombás megbetegedések, veszélyes állatok vagy növények új fajainak várható megjelenése az infrastruktúra védelmi szektorára is jelentős többletterhet ró a felkészülés, tervezés, szervezés és megelőzés területein.

Az éghajlat meghatározó elemeinek gyakorlatilag mindegyike jelentős hatású, a jelentkező problémák egyaránt köthetők a jövőben várhatóan gyakoribbá váló hőmérsékleti szélsőségekhez, a csapadék egyenetlenebbé váló eloszlásához illetve a gyakoribb szélviharokhoz.

Amennyiben a védelmi szektor kapacitása nem erősödik, illetve nem tudja követni a klímaváltozás okozta igények növekedését, az előző pontoknál felsorolt változások hatására:

- Jelentősen megnőhet a lakosságot fenyegető egészségkárosító kockázatok mértéke (fertőző betegségek, hőstressz, kiszáradás, vagy akár fagyás, kihűlés, szív- és érrendszeri, idegrendszeri panaszok gyakoribbá válása, stb.);
- Drasztikusan emelkedhet a szélsőséges időjárási jelenségek és következményeik (viharok, heves esőzések, havazás, áradások, erdőtüzek, stb.) által okozott károk mértéke;
- Csökkenhet a létfontosságú (kritikus) infrastruktúra egyéb elemeinek (közművek, pénzügyi és informatikai rendszerek, közlekedési hálózat, stb.) biztonsága.

## 1. A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS ÉRZÉKELHETŐ HATÁSAI

A NASA Goddard intézetének igazgatója, J. E. Hansen első háromdimenziós, számítógépes klímamodellje óta – a világszerte megszorodott és tovább fejlődött mérési és kutatási programoknak köszönhetően is – a globális klímaváltozás több fontos bizonyítékát tárták fel. Hansen szerint: „A Föld több hőt nyel el, mint amennyit visszasugároz az űrbe. Úgy véli, hogy a „hiányzó” hő a tengerekben halmozódik fel.” Ez az állítás a kételkedők számára mindmáig nem volt más, mint hipotézis [1].

Levitus szerint (egy másik intézetből) az óceánok a Föld éghajlatának változásait megőrizték. Ezért hét évvel ezelőtt átfogó programot szervezett a tengerek felső 3 kilométeres rétegének hőmérsékletmérésére és a korábbi mérési adatok összegyűjtésére. A mintegy tízmillió adat elemzéséből kitűnt: a léghőmérséklet 1955 és 1995 között, azaz 40 év alatt 0,06 Celsius-fokot emelkedett. „Minden arra utal, hogy e melegedés az üvegházi hatást kifejtő gázok hőmérsékletnövelő hatásának a következménye” – jelentette ki Levitus. Majd hozzáfűzte: „De még mindig nem zárható ki teljesen, hogy a hőmérséklet emelkedése a természetes klímaingadozás következménye” [2].

A San Diegó-i Scripps Oceanográfiai Intézet kutatói legújabbán azt az ötletet vetették fel, hogy az óceáni áramlatok 1800 éves ciklusai bizonyos időszakokban – így napjainkban is – növelhetik a globális hőmérsékletet. Ha ez igaz, a Föld hőmérséklete még további 500 évig növekedni fog. Ötszáz év múlva várható ugyanis az óceáni áramlatok olyan átrendeződése, amelynek már az egész Földre hűtő hatása lehet.

A coloradói M. Serrese és kilenc társa a – dán ClimaticChange folyóiratban – a sarkvidékek éghajlatát meghatározó komponensek évtizedes-évszázados változásaival foglalkozott. Tanulmányuk szerint például Alaszka és Eurázsia bizonyos északi részeinek telei a legutóbbi 30 év során kereken 5 Celsius-fokkal váltak melegebbé! Ám „...az elmúlt négyszáz év éghajlati bizonyítékai (...) korántsem mutatnak ilyen drámai változást” - mondja Serrese. [3]

A fenti módon meghatározott talajfelszíni hőmérsékletek évszázadokra "kisimított" (átlagolt) ingadozásait és a műszeres léghőmérséklet-mérések évi változásait (mióta ilyen mérések egyáltalán vannak, vagyis a múlt század második fele óta) egyetlen rajzon összegezték. Eszerint az átlagos hőmérséklet-emelkedés 500 év alatt 1 K (kelvin) volt; a változás valamivel nagyobb (1,1 K) az északi és csekélyebb a déli féltekén (0,8 K). Ám ennek az ötszáz év alatti melegedésnek a fele a legutóbbi száz évben következett be. Mi több, a felmelegedésnek mintegy a 80 százaléka a XIX. és XX. századra esik. A Föld átlagos hőmérséklete tehát a múlt század közepéig lassan, 1850 óta gyorsabban növekedett.

1750-től napjainkig bolygónk átlaghőmérséklete több mint 0,9 Celsius-fokot emelkedett – ebből 0,6 fok az utóbbi ötven év számlájára írható. Szakemberek a jövőre nézve ennél jóval radikálisabb változással számolnak: az elkövetkező évtizedben éves szinten akár 0,1-0,2 Celsius-fokot is emelkedhet a Föld átlaghőmérséklete.

Ezt a globális jelenséget – amely minden bizonnyal az ipari forradalommal, vagyis 150-200 éve kezdődött – ma általában az „üvegházhatású” gázoknak, elsősorban a szén-dioxidnak a felszaporodásával hozzák kapcsolatba. Majdnem teljes bizonyossággal állíthatjuk, hogy a felmelegedés felgyorsulásáért az üvegházhatású gázok kibocsátásának folyamatos növekedése tehető felelőssé. Míg az ipari forradalom idején a légkörben lévő széndioxid-mennyiség 280 milliommód térfogatrész volt, addig napjainkra ez 380-ra növekedett. Ha ez a jelenlegi ütemben folyik tovább, 2015-re a szén-dioxid légköri koncentrációja eléri a kritikusként tartott 400 milliommód térfogatrészes szintet, és egyes modellek szerint ez akár 5 fokos átlaghőmérséklet-emelkedést is eredményezhet a mostanihoz képest.

Nyilvánvalóan ezek az eredmények szerepet játszottak abban, hogy az ENSZ klímaváltozással foglalkozó bizottsága (IPCC) 2000. február 28-án közreadta annak az új beszámolónak a vázlatát, amely erősítheti a pesszimista véleményeket: „... a globális éghajlatra gyakorolt antropogén hatás ma már megfigyelhető”. [3]

## 2. A SZÉLSŐSÉGES IDŐJÁRÁSI JELENSÉGEK ÉS KÖVETKEZMÉNYEIK

A globális klímaváltozással kapcsolatos előrejelzések, a kiadott éghajlati modellek alapján általánosságban elmondható, hogy a kritikus infrastruktúra terhelése nagymértékben nőni fog. Magyarországon a kritikus infrastruktúra fokozott terhelését az okozza, hogy éghajlatváltozás miatt természeti katasztrófák száma emelkedni fog és várhatóan a következmények is súlyosak lesznek. Mindazonáltal a szélsőséges időjárási események nem minden esetben vezetnek egyben katasztrófához is. A katasztrófák meghatározásából is jól elkülöníthető a fogalmi különbség.

A globális klímaváltozás miatt a kritikus infrastruktúrák biztonságos és folyamatos működése nagyobb kihívás előtt áll, mint jelenleg a magas terrorfenyegetettségű és katasztrófaveszélyeztetett régiókban. Az elsődleges hatások és az általuk előidézett másodlagos hatások közösen vezethetnek katasztrófa jellegű eseményhez, ez a méretüktől és a bekövetkezés időtartamától függ, illetve attól, hogy országos szintű összefogásra van-e szükség az elhárításukhoz.

Az elsődleges hatások azok, amelyeket a klímaváltozás közvetlenül kiválthat:

- extrém magas/alacsony hőmérséklet;
- extrém csapadék (tartós esőzés, felhőszakadás, jégeső vagy tartós, maradandó hóréteget adó és/vagy hófúvással együtt járó havazás);
- szélvihar (orkán, forgószél).

A másodlagos hatások, amelyek – értelmezésünk szerint – a fentiekből (alkalmanként egymással kombinálva) következhetnek be:

- ár és belvíz;
- sárfolyam, földcsuszamlás;
- aszály, elsivatagosodás;
- intenzív tüzek, robbanásveszély fokozódása;
- kritikus infrastruktúra sérülése, közüzemi és egyéb ellátó szolgáltatások zavarai, hiányhelyzetek kialakulása;
- egészségi, pszichikai, humán komfort negatív következmények kialakulása;
- társadalmi működési zavarok a pénzügyi, gazdasági, közigazgatási szférákban stb.

Az elsődleges és másodlagos hatások indikátorokkal is jellemezhetők, ezek az ún. elsődleges és másodlagos klímaindikátorok.

### **Elsődleges klímaindikátorok**

Meteorológiai indikátorok:

- a levegő hőmérséklete (átlaghőmérséklet, maximum és minimum értékek, ezek gyakorisága illetve hossza),
- tengerek felületi víz hőmérséklete,
- a csapadék mennyisége (átlagos mennyiség, rövid idő alatt lehullott csapadék mennyiség maximum, a heves esőzések, havazások gyakorisága),
- a szél sebessége, iránya (átlagos szélesebségek, maximum értékek)
- viharok gyakorisága, erőssége.

### **Másodlagos klímaindikátorok**

A klímaváltozás hatásait jellemző indikátorokat környezeti, ökológiai, egészségügyi és társadalmi-gazdasági hatások szerint csoportosítják.

A környezeti indikátorok:

- a sarki és grönlandi jég mennyisége (a jéggel fedett terület nagysága),
- tengerszint, tavak, folyók vízszintje,
- a fagypont bekövetkezésének időpontja, a talaj hóval való borítottságának időtartama,
- talajvíz szint,
- vízminőség, levegő minőség,

- a talaj nedvességtartalma,
- erdő és bozót tüzek kialakulása, stb.

Az ökológiai indikátorok:

- fák lombosodási, virágzási és lombhullatási időpontja,
- pillangó fajok megjelenése illetve eltűnése,
- vándormadarak megérkezésének időpontja,
- madarak költési ideje,
- populációváltozások,
- rovarok tömeges megjelenése, stb.

Az egészségügyi indikátorok:

- az extrém időjárás miatti halálozás,
- a betegséghordozók elterjedésének megváltozása,
- új betegségek megjelenése, stb.

A társadalmi-gazdasági indikátorok:

- vízellátás (vízfelhasználási korlátozások),
- a mezőgazdasági kultúrákban bekövetkezett változások
- az időjárással kapcsolatos veszteségek (biztosítási költségek),
- az életmód változásai, stb.

Az elmúlt 100-150 évben nem csak a klíma változott, hanem a társadalomban is olyan folyamatok, események zajlottak, amelyek növelték az éghajlattal és az időjárással kapcsolatos kockázatokat. Ezek közül Magyarországon a legfontosabbak:

- Hosszabb lett az élettartam, ami azt jelenti, hogy több az idősebb ember, akik érzékenyebbek az időjárási eseményekre;
- Megháromszorozódott a városlakók aránya és így a hőség hullámok káros hatásai szélesebb néprétegeket érintenek;
- Nagyfokú függőség alakult ki a villamos energia ellátástól; szélsőséges időjárás okozta műszaki problémák megbéníthatják a tömegközlekedést, a lakások fűtését, hűtését, világítását;
- A vezetékes ivóvízellátást is veszélyeztethetik a szélsőséges meteorológiai események a sérülékeny vízbázisok esetében;
- Megjelentek és elterjedtek az energifaló légkondicionáló berendezések;
- A szabad ég alatt drágább eszközök, berendezések találhatóak, mint korábban, amelyek az időjárás okozta sérülések esetén nagy kárt szenvednek.

Tehát az olyan megjegyzések, hogy „régén is voltak viharok, jégesők, hőség-periódusok és túléltek azokat”, csak részben igazak, mert a társadalomra gyakorolt hatása (vagyni vagy egészségi) lényegesen eltérő jellegű és mértékű, mint amit korábban tapasztaltak.

A társadalom klímaérzékenysége, klíma sérülékenysége napjainkban sokkal nagyobb, mint 100-150 évvel ezelőtt. Ez a tény is indokolja, hogy az időjárás okozta biztonsági kockázatokra nagy figyelmet fordítsanak. Természetesen bekövetkeztek az elmúlt évek alatt kedvező és előnyös változások is. Elegendő az időjárás előrejelzés megbízhatóságára utalni. Továbbá



korszerűsödtek a védekezési eljárások és technológiák is. Kiépültek a helyi és országos katasztrófa-elhárítást, kármentesítést végző csoportok vagy szervezetek. Az új távközlési rendszerek (pl. mobiltelefonok) a védekezés hatékonyságát növelik az észlelés, riasztás és a kapcsolattartás segítségével. Végkövetkeztetésként megállapítható, hogy egységes rendszerben célszerű szemlélni a klíma és a társadalom változását, átalakulását [4].

### 3. A KRITIKUS INFRASTRUKTÚRÁT SÚJTÓ HATÁSOK MEGELŐZÉSÉNEK VAGY A KÖVETKEZMÉNYEK ENYHÍTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Az éghajlatnak a kritikus infrastruktúrákra nézve kockázatot jelentő változásait több aspektusból is elemezni szükséges. Ezek egyrészt a funkciói teljesítéséből eredően általa összekapcsolt erőforrások keletkezési helyét, valamint a rendelkezésre állási végpontokat jelenti. Az üzemzavarok, leállások másik, a biztonságot nem elhanyagolható módon veszélyeztető területe, magának a technológiai rendszernek az összeomlása és az annak eredményeként a környezetben előálló kár. Harmadik és egyben a legmélyebb vizsgálódást igénylő kérdés az interdependenciák következtében felmerülő kockázatok mibenlétének a felderítése.

Mindezek alapján tehát fel kell tárnunk, hogy milyen hatást gyakorolhatnak az ellátás biztonságára, ha:

- a rendelkezésre állást biztosító létfontosságú infrastruktúrán nem juttatható el a nyersanyag, termék vagy szolgáltatás (továbbiakban: erőforrás) a felhasználóhoz, mivel a környezet időjárási körülményeinek megváltozása ezt megakadályozza;
- a létfontosságú infrastruktúra igénybevételével ugyan biztonságosan elérhető a forrásoldal, de már a funkciójában sérült rendszer nem tudja azt továbbítani a felhasználóhoz az időjárási szélsőségek miatt bekövetkező leállásnak köszönhetően;
- a létfontosságú infrastruktúra üzemeltetése során alkalmazott veszélyes technológia vagy erőforrás környezetkárosító hatásától védő rendszer sérülését kiváltani képes időjárási feltételek állnak elő; illetőleg
- a működésében más infrastruktúráktól függő létfontosságú infrastruktúra működésében zavar keletkezik az előbbi extrém időjárási elemeknek való kitettségek miatt.

A kritikus infrastruktúra védelmével kapcsolatban új és egyre súlyosabb szempontként jelentkeznek az éghajlatváltozás növekvő hatásai, amelyek fokozzák annak sérülékenységét. Várhatóan nő a szélsőséges időjárási események folytán bekövetkező zavarok valószínűsége elsősorban a közúti és kötöttpályás közlekedésben, az áramellátás (távvezetékek sérülése), az ivóvíz-ellátás (vízbázis sérülése) és ezekkel összefüggésben a közellátás, valamint az infokommunikáció terén [5].

A szélsőséges időjárási események a közúti- és vasúti közlekedésben dominánszerű hatást válthatnak ki. Néhány perces áramkimaradás következményei nem csak a lokális térben hatnak majd, hanem a regionális, országos és nemzetközi szintet is elérhetik. Ennek feladataira vonatkozóan a korábbi évek nyugat-európai áramkimaradásai hasznosítható tapasztalatokkal szolgálhatnak. 2003-ban 30 000 utas rekedt a nyíltvonalakon és gondoskodni kellett a legkö-

zelebbi államosra való vonatásukról. Az ilyen rendkívüli helyzetek kezelését megnehezíti, hogy a hatások közvetlen és közvetett módon egyszerre több szektorban jelentkeznek majd.

A rendkívüli időjárási helyzetek okozhatják az előzőleg felvetett eseményeket, azáltal, hogy az időjárási tényezők:

- közvetlenül hatnak a létfontosságú infrastruktúrák fizikai elemeire;
- olyan környezeti változást idéznek elő, amelynek kivédésére sem a létesítést megelőző tervezés, sem pedig a krízishelyzetek kezelését szolgáló biztonsági rendszer nem képes.

Ennek alapján az időjárás prognosztizált változásaiból kiindulva vizsgálандók, hogy a kritikus infrastruktúrák üzemfolytonosságának veszélyeztetésében, milyen szerepet játszhat:

- a szélsőségesen nagy mennyiségű csapadék;
- a viharos szél;
- a rendkívüli hőmérsékletváltozás;
- a különlegesen intenzív természetes forrásból származó egyéb sugárzás (pl.: napkitörések).

Kiemelt figyelmet érdemel az a tény, hogy ezek az önmagukban is veszélyes időjárási paraméterek más környezeti elemekben rendkívüli mértékű változásokat keltve újabb veszélyeket gerjeszhetnek. Például egy-egy intenzív csapadékzóna a felszíni vizeken levonuló töltésállékonyságot is fenyegető árhullámokat indíthat el, súlyos esetben árvizekhez vezetve. Hasonlóan jelentékeny lehet a helyenként a nagy esőzéseket kísérő földcsuszamlások létfontosságú infrastruktúrákat érő hatása is.

A tartós hóhullámok nem kevésbé veszélyesek azokra a létfontosságú infrastruktúrákra, amelyek szerkezeti károsodása révén válhatnak használhatatlanná. A hóhullámokat kísérő vízhiány nem csak a nagy hőelvonást igénylő infrastrukturális létesítményeknél szükséges technológiai vízkivételt lehetetleníthetik el, de az ivóvízkészleteket is csökkenthetik.

A magyarországi kritikus infrastruktúrák elsősorban lakosságellátásra és településbiztonságra koncentrált vizsgálatával az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság 2001 óta foglalkozik. A belső normája részévé tett éves rendszerességű kiemelt feladatban a lakosság ellátása szempontjából meghatározó áram-, gáz- és ivóvíz (szennyvíz) szolgáltatást, valamint a közlekedés különböző ágait (közúti, vasúti, vízi, légi), a távközlést, az informatikai hálózatokat, az energiaellátást (elektromos áram-, üzemanyag-, szén-, gáz- és távhő-ellátás), valamint az árvízi védművek állapotát vizsgálják.

Az éghajlatváltozás a vázolt jelenségeket felerősítheti, és ez által fokozhatja a létfontosságú infrastruktúrák sérülésének kockázatát. Az éghajlatváltozás Magyarországon várható hatásai az alábbiakban valószínűsíthetők [6]:

- A nyarak forróbbá és szárazabbá válnak;
- A telek mérsékeltebbek és esősebbek lesznek;
- Szélsőségek és rendkívüli időjárási jelenségek;
- Több hőségnap, kevesebb fagyos nap várható;
- Egyszerre várható a súlyos aszályok és árvizek kockázatának növekedése;
- Gyakoribb és súlyosabb viharokra számíthatunk.

Megállapítható tehát, hogy az éghajlatváltozás a létfontosságú infrastruktúrák zavarai bekövetkeztének gyakoriságát növelő jelenség. Ezt azonban bizonyos körülmények felerősíthetik. Ilyen az időjárási körülmények mind gyakoribb hektikus változásaiból, nagy intenzitású események bekövetkeztéből eredő károsodások megelőzésére, helyrehozására szolgáló költséges fenntartási munkák elmaradása, valamint a biztonsági struktúrák működőképességének költségtakarékosságból történő háttérbe szorítása az üzemfolytonosság megőrzésének oldalról gyengítik az infrastruktúrák létfontosságú elemeit, amelyek ezáltal nem minden esetben tudnak eleget tenni az ismételt krízishelyzetek jelentette fokozott igénybevételnek és a folyamatos rendelkezésre állás elvárásainak.

A létfontosságú infrastruktúrák más elemeinek üzemeltetése jelenleg is többnyire maximum közeli kapacitás mellett folyik, ami az időjárási anomáliák okozta kritikus helyzetekben megnövekedett igényeket nem minden esetben képes kielégíteni.

Egyes esetekben az igények növekedési ütemétől elmaradó fejlesztések az interdependenciák révén más kellő anyagi háttérrel rendelkező kritikus infrastruktúrák modernizálását is lassítják, így az a társadalmi fejlődés, vagy akár működő-képességének akadályozó tényezőjévé válhat.

A forrás-, illetve a fogyasztói oldalon feltárt kockázatok csökkentésére irányuló intézkedések elmaradása miatt, mind gyakrabban kell majd szembenézni az üzemfolytonosság megszakadásából eredő krízishelyzetek kezelhetőségének nehézségeivel.

A már most is látható problémák egy részének kezelésére:

- A létfontosságú infrastruktúrák esetében az üzemfolytonosságot és a rendelkezésre állást befolyásoló tényezők esetében minimum követelményeket kell felállítani.
- Megfelelő pénzügyi háttérrel biztosító finanszírozási rendszert kell kialakítani a kritikus infrastruktúrák működőképességét csökkentő körülmények javításához.
- A létfontosságú infrastruktúrák éghajlatváltozásnak kitett szegmensei esetében az üzemfolytonossági tervezésben az időszaki felülvizsgálatok elemévé kell tenni az időjárási hatások változását.
- A kritikus infrastruktúrák védelmére szolgáló intézkedések, programokba be kell építeni az éghajlatváltozás jelentette módosító hatásokat.
- Azonosítani kell azokat a kritikus infrastruktúra elemeket, amelyeket az éghajlatváltozás károsító hatásai érinthetnek.
- Az éghajlat modelleknek megfelelően kockázat elemzést kell végezni arra vonatkozóan, hogy kritikus infrastruktúra elemek folyamatos és biztonságos működéshez milyen intézkedéseket kell foganatosítani.
- A globális és regionális interdependenciákkal bíró kritikus infrastruktúrák védelmében közös mechanizmusokat kell kialakítani, a nemzeti védelmi struktúrákhoz igazodva.
- A lakosság élet-, és vagyonbiztonságának megóvását célzó tervezés során bővíteni kell a szükségessé váló tartalékokat, az alternatív megoldások igénybevételének lehetőségét.
- Az éghajlatváltozás által sújtott térségekből érkező jelentős számú népesség, ún. klímamenekültek okozta esetleges kapacitás hiánnyal is számolni kell a létfontosságú infrastruktúrák tekintetében.
- A veszélyhelyzet-kezelési rendszerek intézményi és technikai fejlesztési koncepcióba be kell építeni a globális klímaváltozás kihívásait.

- Meg kell határozni a kritikus infrastruktúra fenntartásával, működtetésével és védelmével kapcsolatos állami, önkormányzati, tulajdonosi, és üzemeltetői feladatokat, valamint jog- és hatásköröket.
- Gondoskodni kell lakosság felkészítéséről, annak érdekében, hogy a rendkívüli helyzetek előfordulásakor minimalizálni lehessen az áldozatok számát és a bekövetkező anyagi károkat.

#### 4. HATÉKONY VÁLASZLÉPÉSEK A KLÍMAVÁLTOZÁS KIHÍVÁSAIRA

Kutatásom elsődleges célja a klímaváltozás által a katasztrófavédelemben jelentkező új kihívásokra adható válaszok, megoldások feltérképezése. Ezek között elsődleges fontosságú javító intézkedések lehetnek az alábbiak:

- A képességek erősítése a védelmi szektor szervezeteinél a finanszírozás javításával, a személyi állomány létszámának és képzettségének növelésével, oktatással, korszerű technikai eszközökkel történő ellátással, vezetési és szervezési átalakításokkal;
- A védelmi igazgatás elemeinek (szervezeteinek, vezetésének) alapos felkészítése a klímaváltozás jelentette új (megnövekedett) kockázatok kezelésére;
- A klímaváltozás jelentette megváltozott feltétel-rendszer szükségessé teszi a biztonság intézményrendszerének felülvizsgálatát, kiemelten a katasztrófavédelmi specializációkat. A társadalom veszélyérzete a klímaváltozás következményeivel szemben növekvő tendenciát mutat, amelyre válaszképpen a katasztrófavédelem területén is megfelelő szolgáltatásokat kell kialakítani.

Érdemes feltérképezni a katasztrófavédelem rendszerét magába foglaló hazai és tágabb (régiós, nemzetközi) környezetet, ezen belül konkrétan azt, hogy a belső és külső környezet milyen segítő, esetleg gátló tényezőket jelent a rendszer fejlesztése számára:

Belső segítő tényezők:

- A problémák tudományosan ismertek, a meghozandó intézkedések metodikája kidolgozott;
- Magyarország katasztrófa-veszélyeztetettsége a világátlaghoz képest alacsonyabbnak mondható (kivéve árvizek, belvizek);
- A veszélyhelyzetek elhárítására ma Magyarországon jól felépített, szakmailag felkészült védelmi szervezetek működnek.

Belső gátló tényezők:

- Finanziális nehézségek;
- Nem elegendő létszámú személyi állomány;
- Korszerű technikai eszközök hiánya;
- Az erők nem megfelelő diszlokációja;
- A megfelelő tervezés illetve preventív intézkedések hiányai;
- A változások jövőbeli megjelenéséről és időbeli felfutásáról csak modellek állnak rendelkezésre, a tapasztalatok hiánya megnehezíti a felkészülést és magában hordozza annak veszélyét, hogy bizonyos következményekkel ma még nem számolunk.

- A társadalom biztonság érzete. A magyar társadalom egésze, beleértve az értelmiséget is nem érzi valóságos biztonsági kockázatnak a klímaváltozással járó veszélyeket.

Külső segítő tényezők:

- A védelmi szféra területén Magyarország nemzetközi kapcsolatrendszere jól kiépített, a világ legjelentősebb katonai (és politikai) szervezetének tagországa vagyunk.

Külső gátló tényezők:

- A klímaváltozás környezeti hatásaiként egyre hevesebben jelentkező természeti (és civilizációs) katasztrófák különösen súlyosan érintik a térség egyes szűkös erőforrásokkal és fejletlen gazdasági rendszerrel rendelkező országait.
- Magyarországra földrajzi adottságainál fogva fokozottan hatnak a Kárpát-medence szomszédos országaiban keletkező környezeti és civilizációs ártalmak, a víz- és levegőszennyezés, valamint az esetleges katasztrófák.
- Az infrastruktúra és a katasztrófavédelem területén még mindig nem rendelkezünk elégséges határmenti kapcsolatrendszerrel, elsősorban a kistérségi kétoldalú segítségnyújtási egyezmények vonatkozásában.

Kiemelt fontossággal bír a területen a kibocsájtások (emisszió) csökkentési lehetőségeinek kutatása. Az infrastruktúra és a katasztrófavédelem területén az üvegházhatású gázok kibocsájtása határozottan problémás, hiszen az elemek működtetése jelentős mennyiségű energiát igényel, amelynek előállítása (amennyiben fosszilis energia-hordozó felhasználásával történt) áttételesen hozzájárul az üvegház-gázok koncentrációjának növekedéséhez. A megvalósítandó célok [7]:

- Az energiaszükséglet egyre nagyobb hányadának kiváltása megújuló energiák felhasználásával;
- Az energiaszükséglet csökkentése korszerűbb, környezetkímélőbb felhasználói technológiákra történő átállással;
- A logisztikai ellátó rendszerek korszerűsítése a fajlagos üzemanyag-felhasználás csökkentésének érdekében. [8]

## ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozás folyamatának, a következmények jövőbeni alakulásának kutatása napjainkban éles vitákra okot adó tudományterület. Újabb és újabb tanulmányok, elemzések és értékelések jelennek meg világszerte, melyek egy része vészharangot kongat, másik része viszont igyekszik bizonyítani, hogy a folyamat nem jelent tartós veszélyt az emberiség számára.

A közelmúlt adatai mindenképpen azt támasztják alá, hogy az időjárási szélsőségek gyakrabban és hevesebben jelentkeztek Magyarországon. Hozzákapcsolva ehhez azt a tényt, hogy a társadalmi-gazdasági fejlődés jelenlegi szintjén sokkal „klímaérzékenyebbek” vagyunk, mint mondjuk néhány évtizeddel korábban, könnyen belátható, hogy akkor cselekszünk leghelyesebben, ha felkészülünk a hevesebbé váló meteorológiai eredetű katasztrófa-helyzetek hatékonyabb kezelésére.

A klímaváltozás következményeképpen felerősödő negatív jelenségek pontosabb feltérképezése, alaposabb ismerete egyértelmű segítséget jelent a hatékonyabb megelőzés kialakításához és az esetleges következmények súlyosságának csökkentéséhez.

A cikkben röviden felvázolt természeti jelenségek, azok következményeinek elemzése jó kiindulást adott arra nézve, hogy mely területeken kell erősíteni az ilyen jellegű katasztrófák elleni védekezést. Az erre tett javaslataim, továbbá a felvázolt segítő és gátló körülmények feltérképezése csak a kezdeti lépés a jelenlegi helyzet javítására. A téma további, részletes kutatása jelentős eredményeket adhat, ami a lakosság, az anyagi javak és az erőforrásaink jobb védelmét közvetlenül is segítheti.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] National Intelligence Assessment on the National Security Implications of Global Climate Change to 2030. National Intelligence Council. Washington DC. 2008.
- [2] National Security and the Threat of Climate Change. <http://securityandclimate.cna.org/>
- [3] Wirth E.: Földünk lázgörbéi; Élet és Tudomány 2000/42.
- [4] Láng István (szerk.): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok, a VAHAVA jelentés. Szaktudás kiadó, Budapest, 2007.
- [5] Horváth Attila: Hogyan értsük meg a kritikus infrastruktúra komplex értelmezésének szükségességét és védelmének fontosságát, [http://www.hadmernok.hu/2010\\_1\\_horvatha.pdf](http://www.hadmernok.hu/2010_1_horvatha.pdf), HADMÉRNÖK V:(1) pp. 377-386. (2010).
- [6] Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008-2025, 75. o., <http://www.kvvm.hu/cimg/documents/nes080214.pdf>;
- [7] VAHAVA projekt [www.vahava.hu](http://www.vahava.hu), Láng István (2003): Bevezető gondolatok "A globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és az arra adandó válaszok" című MTA-KvVM közös kutatási projekthez. "AGRO-21" Füzetek. 31.
- [8] Koller József-Lévay Gábor-Kohut László-Padányi József: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására. Stratégiai és Védelmi Kutatóintézet Budapest, Védelmi Tanulmányok 63. (2010). pp. 34.

Dr. Halász László<sup>1</sup>

## AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSA A BIZTONSÁGRA ÉS A KATONAI ERŐ ALKALMAZÁSÁRA<sup>2</sup>

### **Absztrakt**

*A klímaváltozás tényei miatt a társadalmi élet minden területén foglalkozni kell az alkalmazkodás folyamatával. A biztonságra gyakorolt hatás elsősorban a biztonság környezeti elemét érinti, de ezen keresztül hatást gyakorol a komplex biztonságra. A haderőnek is foglalkozni kell a klímaváltozással, mert az érinti a mindennapos tevékenységét, valamint új feladatokat generál a katasztrófavédelem és a békefenntartás területén. Az egyik legfontosabb feladat a fegyveres erőknél az energiahatékony működés megteremtése.*

### **THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE SECURITY AND THE USE OF ARMED FORCES**

*Due to the fact of climate change it is necessary to deal with the question of the mitigation in the every field of social life. The effect on the global security appears in the environmental security but through this element has a significant influence on complex security. The armed forces also needs to deal with the effect of climate change because it touches the everyday life and it can generate new tasks in the field of disaster relief and peacekeeping missions. One of the most important task of the armed force the increase of energy effectiveness.*

## BEVEZETÉS

A hőmérsékleti feljegyzések azt jelzik, hogy a Föld hőmérséklete világátlagban 0,7°C-ot melegedett a múlt század kezdetétől. A tíz legmelegebb év – az 1861-es feljegyzések óta – 1990 után következett be. A valaha mért legmelegebb év 1998 volt, de 2005 is majdnem rekordot döntött.

Az Éghajlatváltási Kormányközi Testület (IPCC) 2007. év folyamán közzé tett negyedik értékelő jelentése szerint a Föld északi féltekéjének hóval fedett területe 10 százalékkal csökkent az 1960-as évek óta, és a világ nagy részén a gleccserek jelentősen visszahúzódtak. Az arktikus tengeri jég 40 százalékkal vékonyodott a késő nyári időszakban az elmúlt évtizedekben, és 1950 óta késő nyáron 15 százalékkal csökkent a kiterjedése. A legutóbbi becslések szerint csak az elmúlt évtizedben 8 százalékkal csökkent a tengeri jég területe. A tengeri jég olvadása nem emeli ugyan a tengerszintet, de a jégpáncél eltűnése megkönnyíti a kontinentális jég óceánba való áramlását, ami viszont hozzájárul a tengerszint emelkedéséhez, valamint módosítja a földfelszínsugárzás visszaverő képességét is. Amíg a jégfelszín a ráeső sugárzás körülbelül 90 százalékat visszaveri, addig az óceán vize a ráeső sugárzás alig több mint 10 százalékat.

A tengerszint évente 1-2 millimétert emelkedett a 20. században, főképp az óceánok hőtágulása és a gleccserek olvadása következtében. Egy sor növény- és állatfaj húzódott északra, a pólusok felé az elmúlt évtizedekben. A növények virágzása, a vándormadarak meg-

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, halasz.laszlo@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Padányi József, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

érkezése, néhány madár költési időszakának kezdete és a rovarok felbukkanása korábbra tevődött a megfigyelések szerint az északi félteke közepes és magas szélességi köreinek nagy részén. Sok helyen a rovarok és kártevők már sokkal könnyebben áttelelnek.

Európa-szerte is jó néhány drámai áradásról lehetett hallani az elmúlt évtizedben. Valószínűleg az évezred legmelegebb nyara volt 2003, amely több mint 35 ezer ember halálát okozta Európában.

Az IPCC által meghatározott különböző kibocsátási forgatókönyvek mindegyike szerint a globális átlaghőmérséklet emelkedése várható a 21. században. A legnagyobb változást előrejelző forgatókönyv szerint a földi átlaghőmérséklet 2100-ban akár 6,4°C-kal is magasabb lehet az 1980–1999 közötti időszak átlaghőmérsékleténél. Ugyanehhez az időszakhoz képest 2100-ra a világtengerek szintje is emelkedni fog 0,2–0,6 méterrel pusztán a felmelegedés hatására bekövetkező óceáni víz hőtágulása miatt.

Az emberi tevékenységek által előidézett felmelegedés és ennek hatására a világtenger szintjének emelkedése a 21. század során még akkor is folytatódik, ha az üvegházhatású gázok kibocsátását sikerül szinten tartani.[1]

Ilyen változás lehet például:

- a grönlandi és a nyugat-antarktiszi jégtakarók elolvadása, amelyek a világtengerszintjének akár 12 méteres emelkedésével is járhat;
- csökkenhet az Észak-atlanti áramlás erőssége, amely 2–3°C-os hűtő hatást gyakorol az európai régióban;
- a jelenleg még fagyott északi mocsarak kibocsátókká válhatnak azzal, hogy az olvadás hatására az eddig fagyott földből metán szabadul fel.

### **Klímaváltozás hatása hazánkban az IPCC 4. jelentés alapján**

A jelentés szerint a klímaváltozás miatt mediterrán hatás alakulhat ki hazánkban, amely rendszeres aszály veszélyével fenyeget az ország déli felén. Magyarország az elmúlt 50 év átlagában már elveszítette a csapadékmennyiségnek 10-15 százalékát. Ez azt jelenti, hogy az évi átlag 720 milliméterről 640 milliméterre esett.

Magyarország sajátos földrajzi viszonyaiból következően az árvizek és a belvizek előfordulásának nagy a valószínűsége, és a jövőben is számolnunk kell ezzel a veszéllyel.

A sajátos földrajzi viszonyok hatása következtében az ország területére több mint hatvan különböző vízhozamú folyó lép be, és csak három távozik (Duna, Tisza, Dráva) a határon túlra. Ebből következik, hogy a természeti katasztrófák közül leggyakoribb az árvíz előfordulása hazánkban, amely több alkalommal okozott különösen nagy károkat az ország különböző területein. [2]

A klímaváltozás az árvizek mellett aszályt, elsivatagosodást is okoz. Magyarországot a vízhiány – a mezőgazdaság kivételével – egyelőre jelentős mértékben nem érinti, de már vannak aggasztó jelek. Először a Duna-Tisza közének talajvízszint süllyedése jelezte, hogy a későbbi években gondok lesznek.

Hazánk az édesvízkészletek szempontjából a tíz legveszélyeztetettebb ország közé tartozik a világon. Az előrejelzések szerint 2050-re Magyarország félsivatagossá válhat, mert vizeink 95



százaléka külföldről érkezik, ami példátlan kiszolgáltatottságot jelent. Az előző rendszer négy évtizede alatt 3,5 köbkilométernyi vizet emeltünk ki a földből környezetpusztító bányászattal, s természetes vízpótlással ennek a mennyiségnek csak 50-60 százaléka került vissza a földbe. Hazánk átlaghőmérsékletének emelkedése az elmúlt években kimagaslóan nagy volt, példa erre a 2007 év. Ez az év volt az elmúlt évszázad legmelegebb éve Magyarországon. 2007. éves középhőmérséklete országos átlagban 1,7 fokkal volt magasabb az 1971-2000-es éghajlati átlagnál. Csapadékviszonyok tekintetében ugyanakkor a tavalyi év nem volt rendkívüli, az év csapadékhozama országos átlagban a szokásos érték 108%-ának felelt meg.

Hazánkban az átlaghőmérséklet emelkedése mellett a következő évtizedekre az éves csapadék átlagos mennyiségének csökkenése és csapadékeloszlás átrendeződése (több csapadék télen, kevesebb nyáron) várható, továbbá a szélsőséges időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedése. A csapadék utánpótlás, a felszíni és felszín alatti vizek helyzete (minőség, mennyiség) lesz a legkritikusabb kérdés. Globális szinten a változások hatására régióként nagyon eltérő mértékű gazdasági visszaesés, és az egyre kevésbé élhető területekről való elvándorlás jelentős megnövekedése várható.

Összességében Magyarország természetes élővilágában a klímaváltozás hatására az alábbi fontos változások várhatók

- az égövre jellemző vegetáció határainak eltolódása;
- a társulások és táplálékhálózatok átrendeződése; a természetes élővilág fajainak viszszaszorulása, különösen az elszigetelt élőhelyeken;
- hosszú távon a biológiai sokféleség csökkenése;
- inváziós fajok terjedése, új inváziós fajok megjelenése (pl. a kártevő rovarok és gombok terjedése);
- az élőhelyek szárazabbá válása, (pl. vizes élőhelyek eltűnése, homokterületek sivatagosodása);
- ökoszisztéma funkciók károsodása;
- a talajok kiszáradása, a talajban lezajló biológiai folyamatok sérülése;
- a tüzesetek gyakoribbá válása.

## A klímaváltozás okai

A klímaváltozás tényei mellett meg kell említeni az okok és a várható jövő leírásával foglalkozó modellek különböző megítélését. Az okokat illetően a kutatók többségének a véleménye szerint az emberi tevékenység okozta üvegházhatású gázok légköri mennyiségének növekedése az alapvető ok. [1] A "klímaszkeptikusok" véleménye szerint ez nem kielégítő magyarázat, mert a Föld története során többször is előfordult melegedés, illetve volt olyan időszak, amikor a jelenleginél lényegesen nagyobb széndioxid koncentráció esetén sem melegedett a klíma.[3-5] Olyan vélemény is napvilágot látott, hogy a melegedésért az emberi tevékenység okozta növekvő vízgőz koncentráció a felelős. [6] Más kutatók azon a véleményen vannak, hogy az üvegház hatás egy adott tartományon belül változik függetlenül a gázok koncentrációjától. [7]

A klímaváltozás hatást gyakorol a környezetés társadalom minden területére.

## **Klímváltozás és biztonság**

A biztonságot egyéni, társadalmi, regionális és állami szinten, továbbá a nemzetközi rendszer szintjén vizsgálhatjuk. Az egyes szinteken a biztonság több dimenzióban is értelmezhető, bár a köznyelvi szóhasználat a biztonság fogalmához jobbra csak a katonai és a külpolitikai vonatkozásokat társítja. A II. világháború után a fogalom fokozatosan bővült, napjainkban már politikai, külpolitikai, gazdasági, katonai, társadalmi, humanitárius és környezeti biztonságról is beszélhetünk.

A biztonság abból a szempontból is komplex jelenség, hogy több szinten lehet értelmezni.

Az állami szinten kezelt biztonságpolitika fő célja az állam fenntartása és védelme. Ez a túlélésre, működő gazdaságra, politikai függetlenségre és az ország jó politikai hírnevének megőrzésére egyaránt irányul. Ehhez a diplomácia, a gazdaság illetve a katonai erő eszköztárát alkalmazhatja.

A nemzetközi rendszer keretein belül értelmezett biztonságfogalom a nemzetközi intézmények szerepét kutatja. A nemzetközi intézmények kiterjedésük szerint lehetnek globálisak (NATO) vagy regionálisak (EBESZ), funkciójuk szerint pedig gazdaságiak, biztonságiak vagy katonaiak. A nemzetközi intézmények hatékony és eredményes működésének feltétele az, hogy a felek tiszteletben tartsák a nemzetközi jogot és tartózkodjanak a szabályok egyoldalú felrúgásától.

A biztonság elemei nemzeti dimenzióban (nemzeti biztonság).

### **Politikai biztonság**

A politikai biztonság elsősorban egy adott ország szuverenitásának fokában fejeződik ki. Helyzetét egyfelől a külső befolyás megléte vagy hiánya, illetve a befolyás mértéke (korlátozás, önkorlátozás) jellemzi. Általában az adott ország belső stabilitásában, valamint konszolidált, a fenyegetést kizáró külkapcsolataiban, nemzetközi pozíciójában valósul meg.

### **Gazdasági biztonság**

A gazdasági biztonság megítélésénél alapvetően a gazdasági függés (nyersanyagok, energia-hordozók, hozzájuk való jutás, adósság, ipari vagy mezőgazdasági monokultúra, pénzügyi kiszolgáltatottság, cserearányok, piacok, árviszonyok, állami befolyás, stb.) mértékét kell vizsgálni. Azt is vizsgálni kell, hogy a gazdasági biztonság veszélyeztetettsége objektív (pl. nyersanyag vagy energiahordozók hiánya), vagy szubjektív (pl. más hatalmak szándékos nyomásgyakorlása, bojkott, embargó, szankciók) okok miatt áll fenn. A gazdasági biztonság további fontos eleme a szociális dimenzió.

### **Környezetbiztonság**

Ebbe a körbe szokás érteni a környezetvédeltséget, a környezeti ártalmak általános fokát, a katasztrófa-, vízrajzi-, meteorológiai-, közegészség- és járványügyi helyzetet, illetve a védekező mechanizmusok, prevenciós rendszerek meglétét és állapotát.

## Közbiztonság

A szélesen értelmezett közbiztonság egyik legfontosabb dimenziója a nemzetközi és szervezett bűnözés helyzete, egy országban való megjelenési lehetősége és az elhárító rendszerek működőképessége. Ide tartozik az ország veszélyeztetettsége a terrorcselekményekkel szemben, a felderítés, megelőzés, a terrorizmust esetlegesen kiváltó politikai magatartás helyzete is

## Katonai biztonság

A katonai biztonságról, illetve annak hiányáról akkor beszélünk, amikor fennáll (vagy úgy érezzük) a fegyveres erőszakkal való olyan, külső fenyegetettség (agresszió) lehetősége, amelynek elhárításában a katonai erő alkalmazása – még, ha végső eszközként is - szerepet kap. Itt tehát az esetleges ellenség felismeréséről (hírszerzés), támadásáról való lemondásra készítetéséről (elhárítás), visszatartó erőkről (többek között a védelemre alkalmas hadsereg) és az egyes hiányok pótlását garantáló nemzetközi támogatás meglétéről és annak állapotáról van szó. Fontos megjegyezni, hogy a katonai biztonságot nem az erő alkalmazása, hanem a szükséges mértékű megléte szavatolja. Az alkalmazás már a biztonság hiányát fejezi ki.

A klímaváltozás erőteljesen érinti a környezetbiztonságot. Dyer szerint [8] a klímaváltozás a következő fenyegetettséget jelenti:

- növeli a vízforrások megszerzéséért folytatott versenyt;
- növeli az élelmiszer ellátottság bizonytalanságát;
- akadályozza a gazdasági növekedést;
- migrációt okoz;
- fokozza a stratégiai erőforrások megszerzésére irányuló versenyt.

A környezeti feszültséget okoz a megújuló erőforrások szűkössége, valamint az erőforrások minőségének romlása. A két tényező összefügg, a minőség romlása növeli a hiányt és a hiány további romlást okozhat. [9] A környezeti feszültség következménye: szegénység, élelmiszer bizonytalanság, gyenge egészségügyi ellátás, migráció, a politikai és szociális intézmények szétesése. A környezeti feszültség a környezeti szűkösség és a környezeti degradáció eredménye. A környezeti feszültség indikátorai lehetnek a környezeti elemekben bekövetkező jelentős változások (pl. talaj minőség, vízminőség változása). A klímaváltozás forrása lehet a környezeti feszültségek kialakulásának

Környezeti feszültség kialakulásához vezető hatások:

1. Természeti eredetű:
  - Geológiai (földrengés, talajcsúszás, vulkánkitörés),
  - Hidrológiai (árvíz, belvíz, tsunami),
  - Meteorológiai (szélvihar, esőzés, havazás, vihar),
2. Humán eredetű:
  - Ipari eredetű (szennyezések, robbanások, tüzek),
  - Mezőgazdasági eredetű (szennyezések),
  - Lakossági (szennyezések),
  - Politikai (háború, terror támadás, migráció)

A természeti eredetű hatásokban kiemelt szerepe van a klímaváltozásnak.

## A klímaváltozás hatása a haderőre

A klímaváltozás a haderőre is hatást gyakorol. A hatások egy része a mindennapi működéssel függ össze, míg más része a tevékenység bővülésével jár. A mindennapi tevékenységet befolyásoló hatások [10-12]:

- energiatakarékosabb működés igénye,
- kibocsátások csökkentésének igénye,
- a katonák fizikai és pszichikai felkészítésének módosítása,
- a technikai eszközökkel szembeni követelmény rendszerek módosítása

A tevékenység bővülését igényli a fokozottabb mérvű részvétel a katasztrófavédelemben, illetve a növekvő számú konfliktusok kezelésében való részvétel.

A mindennapi tevékenységben egyik legfontosabb feladat az energiahatékonyabb működés és a szén kibocsátás csökkentése. Figyelembe kell venni, hogy a haderő az egyik legjelentősebb energia felhasználó a legtöbb államban. Az energia fogyasztás csökkentését, mint az energia-biztonság részét vizsgálva a következő főbb feladatok adódnak [13]:

- Az energia fogyasztás csökkentése,
- Az energia hatékonyság növelése,
- A megújuló energiaforrások használatának növelése,
- Az energia források elérhetőségének biztosítása,
- A környezeti hatások csökkentése.

Érdekes megvizsgálni az USA haderőben tett intézkedéseket. [5] A szárazföldi haderő feladatai ezen a téren:

1. Egy 500 MW-os naperőmű építése a Fort Irwin-i támaszponton, ami biztosítja a bázis teljes energiaellátását,
2. 4000 db elektromos szállító jármű beszerzése és rendszerbe állítása,
3. biomassza alapú üzemanyag előállítása és alkalmazása,
4. 30 MW-os kísérleti geotermikus erőmű megépítése

A haditengerészet programjában szerepel:

1. A petróleum fogyasztás 50%-kal való csökkentése 2016-ig,
2. a Nagy Zöld Flotta program végrehajtása, amelynek során alternatív üzemanyaggal működő hajók kerülnek rendszerbeállításra,
3. a kikötői energiaellátás alternatív energiaforrásokkal való biztosítása

A Légierő energia felhasználás csökkentő programjának főbb elemei:

1. A repülés-szimulátorok szélesebbkörű alkalmazása a repülési órák csökkentésére,
2. alternatív energiaforrások alkalmazása,
3. a légibázisok energiaellátásának átállítása alternatív energia hordozókra.

Az új technikai eszközfejlesztésben jelentős szerep jutott a metanollal működő fűtőanyag cellákon alapuló elektromos energia ellátó rendszerek fejlesztésének. Három kategóriában folyik a fűtőanyag cellák fejlesztése. A 200 W alatti teljesítményű cellákat elsősorban a különböző szenzorok elektromos energia ellátására tervezik bevezetni, a közepes teljesítmény kategóriájú (200 W...2 kW) cellákat akkumulátor töltésre, míg a 2 kW feletti teljesítményű cellákat különböző eszközök elektromos energia ellátására tervezik fejleszteni.

## Következtetések

A klímaváltozás tényei miatt a társadalmi és gazdasági élet minden területén keresni kell az alkalmazkodás lehetőségeit. Ezen folyamat alól a haderő sem jelent kivételt. A klímaváltozás befolyásolja a haderő mindennapi tevékenységét, hatására új feladatok jelennek meg, elsősorban a katasztrófavédelem területén, de a klímaváltozás hatására kialakuló feszültségek új nemzetközi feladatokat is jelenthetnek. Az amerikai haderő példáján mutattuk be néhány lehetséges adaptációs programot. A Magyar Honvédségnek is ki kell dolgozni a megfelelő programokat, amelyben egyik sarkalatos pontnak kell lennie az energiahatékony működésnek.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change, Cambridge University. Press, Cambridge, UK. <http://www.ipcc.ch> (2012. 03. 02.)
- [2] VAHAVA projekt [www.vahava.hu](http://www.vahava.hu), Láng István: Bevezető gondolatok "A globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és az arra adandó válaszok" című MTA-KvVM közös kutatási projekthez. "AGRO-21" Füzetek. 31. (2003)
- [3] Reményi Károly: A konszenzus és evidencia nem tudományos érv. Magyar Tudomány. 171, 44-48. <http://www.matud.uhfhu/20io/oi/O9.htm> (2012. 03. 02.)
- [4] Szarka László: „Globális felmelegedés” és kritikai gondolkodás. Természet Világa. 140, 5, 214 - 215. <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2009/tvO9O5/szarka.html> (2009. 08. 12.)
- [5] Szarka László: Mozaikok az éghajlatkutatáshoz. Magyar Tudomány. 171, 609-611. <http://www.matud.iifhu/20io/05/i3.htm> (2010. 06. 12.)
- [6] Muzsnay Csaba: Műszaki Szemle (EMT) Y 49, 29-35(2010)
- [7] Miskolczi F. M., a) Időjárás 111, 1, 1-40(2007) b) Energy&Environment 4, 243-262 (2010)
- [8] Dyer, G. Climate change and security, Lloyds, London, 2009
- [9] Földi L., Halász L Környezetbiztonság, Complex Kiadó, Budapest, 2010
- [10] Banett J. Security and climate change Global Environmental Change 13, 7-17 (2003)
- [11] Pearson, R. J. Taking up the security challenge of climate change, The Strategic Studies Institution, Carlisle (USA) 2009
- [12] Busby, J. W. Climate change and national security, Council of Foreign Relations, New York, 2007
- [13] Reenergizing America's Defense, Dew Charitable Trust, Washington, 2010

Lindmayer Judit<sup>1</sup>

## A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS MÁSODLAGOS HATÁSAI A KÁRPÁT-MEDENCE BIZTONSÁGÁRA<sup>2</sup>

*A globális klímaváltozás közvetlen hatásai – a hőmérséklet növekedése és a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbá válása – mellett a közvetett, másodlagos következmények hasonlóképpen fontosak, mivel az élet minden területére befolyással vannak, ez alól a biztonság dimenziói sem képeznek kivételt. Ezen írás célja röviden összefoglalni az elmúlt évtizedek során, a klímaváltozás ellen megszületett nemzetközi összefogás meghatározó lépéseit, a legfontosabb éghajlati kutatások eredményeit, illetve lehetséges jövőképeit, továbbá bemutatni a klímaváltozás másodlagos hatásait hazánk és a Kárpát-medence országainak biztonságára, így a környezeti-, katonai-, és közbiztonság, valamint a kritikus infrastruktúra védelem területére.*

### **THE INDIRECT EFFECTS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON SECURITY OF THE CARPATHIAN BASIN**

*Besides direct effects of global climate change – warming up and more common extreme weather events – are indirect effects similar important, because they influence all areas of life, no exceptions are the dimensions of security. The aims of this essay are in brief summarize the most important actions of international effort against climate change, as well as the main results of climate researches, possible scenarios, furthermore present the indirect, secondary effects on climate change on security of our country and the Carpathian Basin, for example the area of environmental safety, military security, public safety and critical infrastructure protection.*

## BEVEZETÉS

Az éghajlatváltozás napjaink egyik legfontosabb, elhúzódó jellegű problémája, hiszen hatása a bolygó minden pontján érezhető, valamint a következmények elkerülése mára szinte lehetlenné vált, legfeljebb a mértéke csökkenthető a megfelelő politikai és gazdasági lépések megtételével, illetve a társadalmi szemléletmód gyökeres megváltoztatásával.

A klímaváltozás elsődleges hatásai a már ma is tapasztalható emelkedő hőmérsékleti tendencia, vagyis a globális évi középhőmérséklet fokozatos emelkedése az elmúlt évtizedekben és évszázadokban, továbbá az egyre gyakoribbá váló szélsőséges időjárási jelenségek és ezek hirtelen váltakozás (pl. extrém viharok, aszályok stb.). A másodlagos, közvetett hatások között említhetjük az ár- és belvízi jelenségek gyakoribbá válását, az élelmiszer, illetve vízkészletekkel kapcsolatban felmerülő problémákat, az emberi egészségre gyakorolt hatásokat, vagy éppen a kritikus infrastruktúrák védelmével kapcsolatban felmerülő nehézségeket.

A klíma átalakulása az élet valamennyi szegmensére hatást gyakorol, így ez alól a biztonság dimenziói sem kivételek. A fentebb említett, főként másodlagos következmények nagyban befolyásolják a fenyegetettség nélküli állapot – vagyis a biztonság, a legegyszerűbb megközelítés alapján – elérését, annak megvalósítását egyéni, nemzeti, regionális és globális szinten

<sup>1</sup> lindmayerjudit@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Padányi József, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

egyaránt. Hazánk, valamint a Kárpát-medence többi országa a földrajzi adottságok miatt fokozottan ki van téve a klímaváltozás okozta negatív következményeknek, így az komoly hatást gyakorol a környezetbiztonság, a kritikus infrastruktúrák védelme, vagy éppen a rendvédelem hatékony megvalósítására.

A következőkben az éghajlatváltozás másodlagos hatásainak hazánk és a régió többi államának biztonsági dimenzióira gyakorolt következményeit kívánom bemutatni. Annak érdekében, hogy komplex képet kaphassunk a témakörrel, elsőként a klímaváltozás elleni nemzetközi küzdelem lépéseit és eredményeit, jelenlegi helyzetét kell áttekinteni, valamint röviden összefoglalni a klímakutatások eddigi eredményeit és a jövőre vonatkozó scénáriókat.

## A KLÍMAVÁLTOZÁS ELLENI NEMZETKÖZI KÜZDELEM

Már az 1930-as években felvetették egyes klimatológusok, hogy folyamatos melegedés figyelhető meg az 1860-as évekhez képest, majd 1935-ben Guy Stewart Callendar tanulmányában rámutatott, hogy 1890 és 1935 között mintegy 0,5 °C-al emelkedett az átlaghőmérséklet, melyet egy régi elmélet alapján a CO<sub>2</sub> kibocsátás okozta üvegházhatásnak tud be. [1] Az 1960-as és 1970-es években a korábbinál alacsonyabb átlaghőmérséklet a klímaváltozás körüli viták hevét is csökkentette némiképp, ugyanakkor a „városi hősziget” jelenség (a város központi része melegebb, mint a külterületek) megfigyelése egyértelművé tette, hogy az energiahasználat befolyásolja a klímát.

1972-ben, Stockholmban került megrendezésre egy ENSZ Konferencia az Emberi Környezet-ről, ahol a központi téma a természeti erőforrások fokozódó felhasználása volt, valamint azok hatása a meteorológiai folyamatokra. Első alkalommal került sor a légköri szennyeződések klimatikus következményeinek és az ember által okozott hatások vizsgálatára nemzetközi szinten. Az 1980-as évek első fele nem hozott drasztikus változást a mért hőmérsékleti adatok tekintetében, csak az északi félgömb északi részén tapasztaltak átmeneti lehülést, a Föld többi pontján nagyrészt stagnáltak az átlagok, ezzel szemben az évtized második része rekordokkal volt tele, az illetékesek mégsem merték egyelőre megkongatni a vészharangokat.

1985-ben az ausztriai Villachban tartott világkonferencián az éghajlatváltozást „elfogadható és komoly valószínűségű” jelenségként vázolták. Ezt követően 1988-ban Torontóban, majd 1990-ben Genfben tartott konferencián a szakemberek határozott kibocsátás-csökkentő energiapolitikát követeltek, valamint kimondták az „elővigyázatosság elvét”, vagyis azt, hogy nem szabad megvárni, amíg tudományos bizonyítékok támasztják alá a klímaváltozás tényét, mert addigra lehet, hogy már túl késő lesz.

Az 1988-ban létrehozták az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), melynek feladata az klímaváltozás várható következményeinek vizsgálata, majd azok összefoglaló elemzésének megalkotása, ezzel tudományos és politikai iránymutatást nyújtó dokumentumok létrehozása. Az IPCC tevékenységében a világ legjobb szakemberei, több ezer kutató dolgozik, készíti el rendszeres időközönként a jelentéseit, melyet a kormányok felhatalmazott képviselői konszenzusos formában fogadnak el. Az első dokumentumot 1990-ben adták ki, majd 1996-ban, 2001-ben és legutoljára 2007-ben.

Az 1990-es években gyorsuló melegedés volt tapasztalható, így egyre több fórumon és döntésho-

zón szinten ismerték el a melegedési folyamat valós veszélyét. Vizsgálatokat végeztek a sarkokon vett jégfuratokon, kőzet és talajmintákon, valamint elemezték a fák évgűrűit, melyekből egyértelmű bizonyítékokat kaptak a melegedő tendenciára. 1992-ben, a felmerülő problémák kezelésére Rio de Janeiro-ban megtartott ENSZ Konferencia a Környezetről és Fejlődésről komoly eredményeket ért el, mivel megalkották, majd a tagállamok aláírták az ENSZ Éghajlatváltozási Keret-egyezményét. A dokumentum kimondja, hogy minél hamarabb cselekedni kell, hiányossága azonban, hogy konkrét határidőket nem tartalmaz, jogilag nem kötelező érvényű.

A következő fordulópontot 1997 jelentette és a Kiotói Jegyzőkönyv. Az egyezmény konkrét kibocsátás szabályozást érintő kötelezettségeket állapított meg, azonban ez a fejlett országokra és az „átmeneti gazdaságú” kelet-közép európai államokra vonatkozott, a fejlődő államok nem fogadtak el semmilyen jogi kötelezettségvállalást. A megállapodás alapján a 2008-2012-es időszakra az aláíróknak az 1990-es szinthez képest 5,2%-al kell csökkentenie a kibocsátását, ugyanakkor ez a volt szocialista országok esetében annyiban módosul, hogy a viszonyítási időszak az 1985-87-es évek. Sajnálatos módon a kezdeményezés nem érte el teljesen célját, hiszen a legnagyobb kibocsátók nem vállalták a csökkentést, így például az Egyesült Államok aláírta, de a szenátusával nem ratifikáltatta a Kiotói Egyezményt, így az nem vált kötelező érvényűvé. [2] 2005 februárjában lépett életbe a jegyzőkönyv, majd ugyan azon év decemberében Montreálban konferenciát rendeztek a tagállamok, ahol elfogadásra került a végrehajtási szabályrendszer, benne többek között az eszközök és szankciók meghatározásával.

2007-ben az indonéziai Balin tartották az ENSZ következő esedékes klímacsúcsát, ahol a feladat a további egyeztetések előkészítése volt az újabb vállalások érdekében, mivel 2009-ben járt le a Kiotói Jegyzőkönyv első szakaszának teljesítése. A konferencián az Európai Unió kísérletet tett a saját maga által kitűzött 20%-os csökkentési cél elfogadtatására a többi állammal, ez azonban nem járt eredménnyel. A fejlődő államok, valamint az USA tiltakozása ellenére végül megszületett a tárgyalási tervezet, azonban ebből kimaradtak a konkrét szám adatok. [3]

A koppenhágai konferencián (2009. december) a várt egyezmény, a jegyzőkönyv továbbdolgozása elmaradt. A Koppenhágai Egyezés egy konkrét számok és határidők nélküli, jogilag nem kötelező érvényű dokumentum lett, mely csupán azt határozza meg, hogy az aláíró államoknak be kell nyújtaniuk az önkéntesen vállalt csökkentés összegére vonatkozó nyilatkozatukat, valamint konkrét összeget irányzott elő a fejlődő országoknak nyújtandó rövid, illetve hosszú távú klímavédelmi támogatásra vonatkozóan. [4] Az aláírók a záró részben 2 °C-ban maximalizálták a globális átlaghőmérséklet-emelkedést. [5]

A következő évben, mexikói Cancúnban megrendezett csúcs jelentősége rendkívül nagy volt, hiszen a sikertelenség az ENSZ klímavédelmi tevékenységének ellehetetlenülését hordozta magában. A résztvevő államok a Cancúni Megállapodásban nevesítették a kiotói vállalások második periódusát, azonban a konkrét számokról nem sikerült egyezsége jutni. Az államok egyetértettek abban, hogy létre kell hozni egy Zöld Alapot, melybe 100 milliárd dollárt gyűjtenek össze a fejlődő államok megsegítésére, valamint a korábban felajánlásra került 30 milliárd dollárt gyorssegélyként a rászorulóknak rendelkezésre bocsátják 2012-ig. [6] A dokumentumban ezen kívül szerepel egy erdővédelmi program kidolgozásának terve, illetve egy szervezet felállítása, mely a klímaváltozás hatásai által leginkább sújtott államokat segítené a védekezésben. [7]

2011 decemberében a dél-afrikai Durban adott helyet a következő csúcsnak, ahol a négy legna-



gyobb vitát kiváltó kérdés a Jegyzőkönyv további sorsáról, a kibocsátás-csökkentés mértékéről, a Cancúnban létrehozott Zöld Klíma Alap finanszírozásáról és az erdővédelmi programról való megállapodás volt. [8] A feszített tempójú, néha kissé zűrzavaros tárgyalások eredményeképpen sikerült kialakítani a közös álláspontot, mely alapján 2015-ig kialakítanak egy globális ütemtervet (Durban Platform for Enhanced Action), mely 2020-ra jogilag kötelező érvényű, minden országra érvényes és végrehajtható rendszert képez. Elemzők szerint ennek jelentősége abban rejlik, hogy a nagy kibocsátókra is érvényes lesz, illetve a COP (Conference of the Parties – ENSZ Éghajlatváltozási Konferencia) történetében először sikerült olyan dokumentumot alkotni, melyet minden fél elfogadott és jogilag kötelező vállalást foglal magába. [9] Ezen ütemterv mellett sikerült egyezsége jutni a Kiotói Jegyzőkönyv sorsáról is. További öt évvel hosszabbították meg az érvényességét, azonban a második vállalási szakasz végének pontos megállapítása a 2012-es klímacsúcs feladata lesz. Míg az EU tagállamok továbbra is kitartanak a Kiotói Jegyzőkönyv mellett, újabb országok nem csatlakoztak a megállapodáshoz, ellenben Kanada először csak fontolgatta, majd hivatalosan be is jelentette kilépését.

## A LEGFONTOSABB KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÉS SZCENÁRIÓK

A globális szintéren folyó politikai és gazdasági csatározás mellett fontos kiemelni azokat, a klímaváltozás helyzetét és lehetséges hatásait összefoglaló és elemző műveket, melyek nemzetközi kutatócsoportok az elmúlt években készítettek. Érdemes lesőként a már említett **IPCC legutóbbi jelentésével** foglalkozni, mivel ez a leginkább elismert – és egyben legtöbbször támadott – dokumentum. [10]

Az elmúlt 50 évben évtizedenként  $0,13^{\circ}\text{C}$ -al emelkedett az átlaghőmérséklet, valamint a levegő átlagos vízgőztartalma (földfelszínen, az óceán felett és a felső troposzférában) egyaránt növekedett. Az évi 3,1 mm-es tengerszint-növekedés mellett, a világóceán átlagos hőmérséklete 1961 óta minimum 3000 méter mélységig nőtt. Az elmúlt száz évben az antarktikus térség átlaghőmérséklet-növekedési üteme kétszer olyan gyors, mint a globális átlag. 1900 és 2005 között Észak- és Dél-Amerika keleti részén, Észak-Európában és Ázsia északi, illetve középső részén nőtt a csapadék mennyisége, míg száradás figyelhető meg a Száhel-övezetben (Szahara déli része), a Földközi-tenger térségében, valamint Dél-Afrikában és Dél-Ázsiában egyaránt. A tudósok megállapították, hogy mindkét féltekén erősödtek a mérsékelt övi nyugati szelek, továbbá a heves csapadékot adó események gyakorisága nőtt a szárazföldi területek nagy részén. A múlt század közepe óta ritkábbak a hideg napok, éjszakák és fagyok, míg gyakoribbá váltak a hőhullámok, forró napok és éjszakák. Ugyanakkor megállapítható, hogy a déli sarkon nincs melegedő trend, az átlagos kiterjedésben nem tapasztalható szignifikáns változás, valamint a globális napi hőmérsékleti ingás változatlan, az éjszakák és nappalok hőmérséklete azonos ütemben nőtt. Számos ökológiai rendszer alkalmazkodási képességét meghaladja a várható változás, így a fajok 20-30%-a a kihalás felé sodródik, mely magával vonzza a biológiai sokszínűség csökkenését.

Az *afrikai kontinensen* a fokozódó élelmiszer és vízhiány mellett az alacsony, sűrűn lakott partvidéki városokat sújthatja az emelkedő tengerszint veszélye, ráadásul ezen területeken a gazdasági fejlettség szintje is igen alacsony. A korallzátonyok érzékeny egyensúlyát megbont-

ja az óceánok savasodása<sup>3</sup> és a víz hőmérsékletének növekedése, ezzel veszélybe sodorva a tőle függő fajokat, melynek hatására csökken a halászat és az idegenforgalom. *Ázsiában* a csökkenő vízkészlet – a Himalája gleccsereinek olvadása következtében – és a fokozódó árvizek mellett a hó és jég eltűnésével a hegységek állékonysága csökken, a sziklaomlások gyakoribbá válhatnak. A környezeti hatásokat megtöbbszörözi a gyors városiasodás, valamint az ezzel járó természeti erőforrások kiaknázása. *Ausztrália és Új-Zéland* szintén érintett a vízhiányban, mivel ebben a térségben is csökken a csapadék mennyisége, de a magas hőmérséklet hatására a párolgás intenzitása nő. A biológiai sokszínűség jelentős csökkenése várható 2020-ig, többek között a Nagy-Korallzátonyon és Queensland őserdei, trópusi részein. Az alacsonyan fekvő, sűrűn lakott területek a tengerszint emelkedés hatására kerülnek veszélybe, gyakoribbá válnak a viharok és az áradások.

*Európában* a visszahúzódó gleccserek a vízhiányt, a hóhullámok az emberek egészségügyi veszélyeztetettségét növeli. Előreláthatóan a növény és állatfajok észak felé húzódnak, hosszabbá válnak a vegetációs időszakok. Az alacsonyabban fekvő, tengerparti vidékek (pl. Hollandia) gyakoribb elöntése várható, valamint fokozódik az erózió, melyet a szélviharok és a tengervíz okoz. Számtalan növény- és állatfaj – főként az alacsony tűrőképességgel rendelkezőket – a kihalás veszélye fenyeget. Dél-Európában az aszály és a magas hőmérséklet, a vízkészlet további csökkenése okozhat problémát, valamint gyakoribbá válnak az erdő, bozóttüzek és tőzegmocsarak tüzei, ezzel a légkör további szennyezését okozva.

*Az amerikai kontinens északi részén* kisebb értékű változások várhatók, a nyugati hegységekben kevesebb hó valószínű, azonban nő az áradások gyakorisága. A nyári csapadékmennyiség csökken, ez vízhiányhoz és erdőtüzek kialakulásához vezethet. A nagyfokú környezetszennyezés miatt nagyobb lesz a partvidékeken a klímaváltozás hatása, illetve ezen területek sérülékenysége egyaránt megnő. *Latin-Amerikában* a hőmérséklet emelkedése mellett csökken a talajvíz mennyisége, a trópusi esőerdők helyét rövid időn belül – még az évszázadban – savanna veheti át. A biológiai sokszínűséget veszélyezteti a fajok kihalása, illetve a sivatagossá váló talajon romlanak a mezőgazdasági termelés lehetőségei. Az élelmiszerhiány nem csak a lakosságot, de az élőállat-tenyésztést is hátrányosan érinti. Az alacsonyan fekvő területeket áradások veszélyeztetik, továbbá a csendes-óceáni térség dél-keleti részén a halállomány elterjedési területének áthelyeződése komoly problémákat idézhet elő. A vízhiányt tovább növeli a gleccserek olvadása, mely jelenleg energiaforrásként is hasznára válik a régióban élőknek.

A kis szigetek idővel eltűnhetnek a parti erózió és az emelkedő tengerszint következtében, veszélybe kerülnek a helyi erőforrások – pl. halászat, idegenforgalom – és a század közepére kifogyhatnak a vízkészletek. Az emelkedő hőmérséklet miatt a nem őshonos állatfajok bevándorolnak, kiszorítva ezzel a sok helyen egyedülálló biodiverzitást.

A kutatók által modellezett jövőképek nagy része idealizált kibocsátások alapján készült, ezért az IPCC szakértői csoportja több lehetséges kibocsátási szint mellett vázolta fel a következő évtizedek éghajlati alakulását. Az úgynevezett SRES<sup>4</sup> emissziós forgatókönyvek a 2000 és 2100

<sup>3</sup> Az óceánok PH értéke 7,5-8,5 között mozog, vagyis enyhén lúgosak, így a savasság növekedésével semleges kémhatást állhat elő.

<sup>4</sup> IPCC Speciális Jelentése az Emissziós Forgatókönyvekről (IPCC Special Report on Emission Scenarios)

közötti időtartam alakulását tartalmazzák. A négyféle forgatókönyv a gazdasági növekedés, energiaforrások típusai, a népesség növekedése, valamint a technológiai fejlesztések szempontjait veszi figyelembe. A négy lehetséges forgatókönyv közül a legalacsonyabb kibocsátást a B1 modell valósítja meg, ebben az esetben a várható hőmérséklet-növekedés 1,8 (1,1-2,9) °C, míg a legmagasabb kibocsátású A1FI koncepció akár 4 (2,4-6,4) °C emelkedést is előidézhet.

A fenti, sokszor sokkoló scenáriókat a publikálás óta nagyon sokan támadják, illetve a szkeptikusok kételyeit az úgynevezett „Climategate”<sup>5</sup> ügy tovább növelte. A felmerülő kérdések tisztázására Richard Muller klímakutató 2010-ben elindította a *Berkeley Earth Project*-et (BEST projekt)<sup>6</sup>, melynek célja volt az évtizedek óta rendelkezésre álló adatok összegyűjtése és új statisztikai módszerekkel – benne a feldolgozó algoritmusok felülvizsgálatával, hibák kiküszöbölésével – való elemzése. Ennek oka az volt, hogy sokan kifogásolták, az IPCC szakemberei nem megfelelő számú és rosszul elhelyezett (légköri és nem földfelszíni hőmérsékletet mérő) állomás adataival dolgoztak. Mindezek kiküszöbölésére Muller és csapata – statisztikusok, fizikusok és klímakutatók – 39 000 ellenőrzött állomástól gyűjtötték be adataikat, majd dolgozták fel. Megállapították, hogy az 1950-es évek óta 0,911 °C-kal nőtt a globális átlaghőmérséklet, valamint a városi hőszigetek és a rossz állapotú mérőállomások elhanyagolható hatást gyakorolnak ezen értékre. Az állomások egyharmada az elmúlt 70 évben hűlést regisztrált és csak a 2/3-uk melegedést, továbbá véleményük szerint a korábban feltételezettnél kisebb az El-Nino<sup>7</sup> jelenség jelentősége. A projekt eredményét a korábban megrögzött szkeptikusok nagy része elfogadta, mely hatalmas előrelépést jelent a jövőbeni kutatások szempontjából.

Fontos kiemelni a klímaváltozás hazánkra gyakorolt hatásainak vizsgálatával foglalkozó *VAHAVA* (Változás-Hatás-Válaszadás) programot, mely a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, valamint a Magyar Tudományos Akadémia közös projektje volt 2003 és 2006 között. A neves szakemberek által végzett kutatás megállapította, hogy az elmúlt száz évben hazánkban is jelentős változások álltak be a korábban megszokott éghajlatban. Változékonnyabbá<sup>8</sup> vált az időjárás és az elmúlt 30 évben gyorsult a felmelegedés: 1975 és 2004 között a napi maximum hőmérséklet 2,3 °C-al nőtt. A hőmérséklet emelkedése az ország keleti és észak-nyugati felén volt erősebb, illetve ezeken a területeken csökkent a csapadék mennyisége leginkább. Nőtt a nyári forró, valamint a 20 °C feletti minimumhőmérsékletű napok száma. Mind a négy évszakban egyaránt nőtt a hőmérséklet, legnagyobb mértékben nyáron – körülbelül 4-5 °C-kal –, legkevésbé pedig tavasszal, 3-3,5 °C-kal. Az éves csapadék mennyisége a

<sup>5</sup> 2009 novemberének végén a brit University of East Anglia levelező rendszeréből nyilvánosságra kerültek amerikai és angol klímakutatók magánbeszélgetései, benne többek között olyan bizalmas információkkal, hogy mely adatokat publikálhatják, milyen statisztikai trükköket alkalmaznak, illetve a szkeptikusokat többször is „idiótáknak” nevezik. Forrás: [http://news.nationalgeographic.com/news/2004/12/1206\\_041206\\_global\\_warming.html](http://news.nationalgeographic.com/news/2004/12/1206_041206_global_warming.html) Letöltés ideje: 2012.01.13.

<sup>6</sup> A projekt megvalósításához való pénzügyi háttérrel többek között magánszemélyek, Bill Gates alapítványa, az Innovatív klíma- és energiakutatási alap, továbbá a Getty Alapítvány és a Koch Alapítvány biztosította.

<sup>7</sup> Az El Niño egy nagyskálájú óceáni-légköri éghajlati jelenség a Csendes-óceán trópusi területein, amely a tengerszín hőmérsékletének periodikus változásának meleg fázisa. Karácsony tájékán veszi kezdetét és hosszú hónapokig (9-12) tart. Forrás: [http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2\\_\\_raml\\_si\\_rendszerek/\\_-El\\_Ni\\_o\\_27k.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2__raml_si_rendszerek/_-El_Ni_o_27k.html) Letöltés ideje: 2012.03.20.

<sup>8</sup> Hazánk éghajlatát a kontinentális, az óceáni és a mediterrán klíma hármasa jellemzi, valamint további befolyást gyakorol a Kárpát-medence domborzata egyaránt.

XX. században jelentős mértékben csökkent, ugyanakkor az intenzitása emelkedett – jellemzővé váltak a záporok, felhőszakadások –, amivel párhuzamosan romlott a hasznosulása és nőtt a lefolyás. A szárazabbá váló időjárás következtében a folyók nyaranta az egyharmadukra apadhatnak. Szintén változás állt be a csapadékok eloszlásában, a téli csapadék mennyisége emelkedett, míg a nyárié csökkent. A szélsőséges időjárási jelenségek aránya megnőtt, gyakoribbá vált az erős széllel és felhőszakadással kísért viharok kialakulása.

Az egyik legfontosabb fennálló veszély az egyedülálló biodiverzitás megszűnése, a ritka fajok kihalása, melyet elősegít az inváziós fajok (rovarok, gyomok) egyidejű elterjedése egyaránt. A néhány foknál nagyobb felmelegedést – a jelenlegi károsanyag-kibocsátással 2025-re érjük el az 1 °C-ot – az ökoszisztémák nagy része nem fogja tudni kezelni, így eltolódhatnak a természetes, adott égővre jellemző vegetációk határai, átrendeződhetnek a társulások és táplálékhálózatok, illetve hosszú távon a biológiai sokszínűség jelentős csökkenése várható. Az élőhelyek szárazabbá válásával együtt az ökoszisztémák funkcióinak károsodása is fennáll, gyakoribbá válhatnak a tüzesetek, valamint a vizes élőhelyek fennmaradása veszélybe kerülhet.

Bár jelenleg – a földrajzi adottságokból következően – Magyarország vízkészletei még jelentősek, a túlzott felhasználás és a szárazabbá váló időjárás viszont nagymértékű, gyors csökkenéshez vezethet, ezáltal módosulhat a vízkészlet és annak minősége. A csapadék-intenzitás változása miatt hosszan tartó aszályokra és árvizekre, belvizekre lehet számítani, a kisebb vízmennyiség miatt pedig csökken a vizek öntisztító képessége. Változhat az állóvizek víz-háztartása, mivel a melegebb időjárással fokozódik a párolgás, a folyók lefolyása csökken – ezáltal az utánpótlás sem biztosított kellő mértékben –, és az átlagos sótartalom növekedése várható. Hosszú távon a tavak kiszáradása, felületcsökkenése valószínűsíthető. [11]

Látható tehát, hogy hazánk fokozottan ki van téve a klímaváltozás negatív következményeinek, így a természeti értékeink, anyagi javaink és az emberi egészség merőzése kulcsfontosságú kérdés a következő évtizedekben.

## A KLÍMAVÁLTOZÁS MÁSODLAGOS HATÁSAI

Az éghajlat átalakulásának hosszú távon, globálisan várható következményeinek és a változások regionális vonatkozásainak összefoglalása után szükséges foglalkozni a klímaváltozásnak a térség biztonságára gyakorolt hatásaival.

Amint az már korábban említésre került, az éghajlatváltozás elsődleges következményei közé soroljuk az átlaghőmérséklet emelkedését, valamint a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbá válását. A másodlagos, ezekből származó hatások nagyban befolyásolják a biztonság dimenzióit. A biztonság komplex fogalom, messze túlmutat a katonai erőn, mindent magában foglal, ami az egyén, állam vagy szövetségek gondoktól mentes működéséhez szükséges. A klímaváltozás potenciális veszélyt jelent erre az akár idillinek is mondható állapotra, nem véletlenül nevesíti a hazai Nemzeti Biztonsági Stratégia mind a korábbi, mint pedig a nemrégiben megjelent, átdolgozott változatában egyaránt. [12]

A vizsgálat során elsőként a biztonság hagyományos értelmezésével, a katonai- és közbiztonsággal kell foglalkozni.

## Katonai biztonság és rendvédelem

Az éghajlatváltozás hatására a Föld és lakóinak biztonsága több szempontból is veszélybe kerülhet, ezek közül a legkézenfekvőbb és közvetlenül tapasztalt dimenzió a környezeti változások okozta nehézségek, így például az áradások, hirtelen lecsapó viharok, extrém időjárási jelenségek. A jelenleg előrelátható változások szerint mintegy 46 országban – elsősorban Afrikában és Ázsiában –, összesen 2,7 milliárd embert érintve alakulhatnak ki konfliktusok kifejezetten a klímaváltozás hatására, illetve további legalább 56 államot veszélyeztet a politikai instabilitás. [13] Hazánk abban a szerencsés helyzetben van, hogy a jelenlegi állapotok tükrében a közeljövőben fegyveres konfliktus kialakulásától nem kell tartania a térségben.

A katonai biztonság kérdéskörének vizsgálatát az *édesvíz-készletek* rohamos fogyatkozásának problémájával kell kezdeni. A Föld felszínének ugyan 71%-át víz borítja, ebből csupán 2,5% iható édesvíz, vagyis a vízkészlet töredéke alkalmas emberi fogyasztásra, mely folyamatosan feszültséget okoz az amúgy is száraz éghajlatú, nagy lakossággal bíró országokban, régiókban. További problémát okoz, hogy a készletek jó része a sarki jégsapkákban összpontosul, így azok felmelegedés okozta visszahúzódása, és a sós tengerekbe való olvadása tovább redukálja a tartalékokat.

A földrajzi adottságok következtében mind a Kárpát-medence, mind pedig hazánk édesvíz-készletét tekintve jól ellátott, ezeket – a régió többi országának helyzetéből és adottságaiból kifolyólag – jelenleg és a közeljövőben katonai erővel támogatott veszély nem fenyegeti. Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy az ország területén áthaladó folyók 95%-a más országok területén ered, ezáltal erős a függőség szomszédainktól. Az áradások és szennyezések tekintetében védtelenek vagyunk, ezek megelőzése és hatékony kezelése egyrészt a nemzetek közötti együttműködéstől, másrészt a saját védelmi képességektől függ. Magyarországon stratégiai szerepet tölt be a felszíni vizeken túl a felszín alatt lévő karsztvíz-készlet, mely a lakossági ellátásnak jelenleg a 90%-át adja. A melegedés következtében megnövekedett párolgás csökkenti a víz a mennyiségét, továbbá az esetlegesen bekerülő szennyeződés végzetes hatással lehet az ivóvíz-ellátásra.

Az éghajlatváltozás hatására könnyen kiéleződhetnek a feszültségek a vizet birtokló és a vízhiányban szenvedő államok között, vagyis szélsőséges esetben fennáll a lehetősége annak, hogy a Kárpát-medencében is hasonló konfliktus eszkalálódik. Következésképpen ezen természeti adottság megóvása, valamint a regionális együttműködés szorosabbá tétele rendkívül fontos.

A katonai biztonság kérdésének vizsgálata során kiemelt figyelmet kell fordítani a *Magyar Honvédségre*, hiszen katonáink és eszközeik részvétele a hazai éghajlati változásokra való felkészülésben – az elmúlt időszak tapasztalatai alapján – elkerülhetetlen. Az egyre gyakoribbá váló katasztrófahelyzetek felszámolásának egyik fontos elemévé kell válnia a honvédség megfelelő egységeinek és azok logisztikai támogatásának, eszközrendszerének. Természetesen a katonák alkalmazása mellett a rendőrség és a katasztrófavédelmi egységek működése, fejlesztése is szükséges, csak ezen szervek hatékony együttműködésével lehet gyorsan és eredményesen kezelni a kritikus helyzeteket. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy hazánkban jelenleg a Magyar Honvédség az egyik – a katasztrófahelyzetek felszámolásában bevonható – olyan szervezet, mely önálló logisztikai háttérrel rendelkezik és gyorsan mozgósítható.

Nem szabad megfeledkezni arról sem, hogy a NATO tagsági kötelezettség okán a missziókban való aktív részvétel Magyarországnak is feladata. A jelenlegi célországok klimatikus viszonyai a hazaitól sok esetben teljesen eltérőek (pl. Afganisztán), az ezekre való felkészülés és felkészítés rendkívüli jelentőséggel bír mind a tevékenység végrehajtásának sikeressége, mind a magyar katonák testi és lelki épségének védelme érdekében. A megfelelő védőruházat kialakítása, a misszióban résztvevő állomány fizikai állóképességének és szervezetének megerősítése, felkészítése mellett a technikai eszközök „akklimatizálása” egyaránt szükséges.

A rendvédelem területére áttérve megállapítható, hogy súlyos következményekkel járhat a természeti jelenségek sújtotta területről elmenekülő tömegek megjelenése. Az úgynevezett „**ökológiai menekültek**”<sup>9</sup> csoportja egyelőre jogilag még nem meghatározott, azonban a gyakorlatban már tapasztalható kategória. Azokról a tájakról menekülő embereket nevezik így, akik kénytelenek a jobb élet reményében elvándorolni hazájukból, amelyet az árvíz, tengeri elöntés, vagy éppen az elsivatagosodás sújt. Sok esetben ezek a hatások idézik elő az élelmiszer és vízhiányt, a gazdasági nehézségeket, melyek megélhetési problémákat okoznak. Az elsősorban illegálisan lakhelyet változtatók Afrikából, Ázsiából, Dél-Amerikából menekülnek a jobb életkörülményekkel kecsegtető Észak-Amerika és Európa irányába. A menekültek nagy létszáma több okból is problémákat von maga után. A célországokban a bevándorlók miatti többletkiadások gazdasági nehézségein túl a kulturális-társadalmi ellentétek, esetenként az idegenellenes közhangulat, ugyancsak súlyosbíthatják a helyzetet. Az elhelyezésük, élelmezésük hely és anyagi igénye komoly pénzügyi terhet ró a befogadó államra. Az illegális migráció a szervezett bűnözéssel szorosan összefonódik, amely többletproblémát jelent a kormányoknak.

A migrációs problémák jelentősége vitathatatlan, hiszen már napjainkban is számtalan konfliktust idéznek elő főként a nyugat-európai államokban<sup>10</sup>. Magyarország e tekintetben elsősorban tranzit-ország, vagyis csak ideiglenesen tartózkodnak itt, majd továbbutaznak a nyugati államok felé. Elképzelhető, hogy a későbbiekben már hazánk is célországgá válik, amennyiben a nyugat-európai államok megelégedik a menekültek beözönlését és jogszabályokban korlátozzák a beutazást. Magyarország szempontjából érdemes még figyelmet fordítani a Balkánra, hiszen az éghajlatváltozás következtében a kontinens déli részén szárazság és felmelegedés tapasztalható, így a jelenleg is mind gazdaságilag, mind pedig társadalmilag nehéz helyzetben lévő területről a megélhetés biztosításának híján migráció indulhat meg északi irányba, többek között hazánkba.

<sup>9</sup> „A tengerek szintjének emelkedése, az elsivatagosodás, a tengerpartok eróziója, valamint az árvizek egyre gyakrabban kényszerítenek embereket lakhelyük elhagyására: őket nevezik ökológiai menekülteknek” Számuk napjainkban megközelítőleg 50 millió fő (Forrás: Padányi J.-Kohut L.-Koller J.-Lévay G.: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására, Védelmi tanulmányok No. 63., ZMNE SVKI, Budapest, 2010. ISBN:978-963-7060-97-7, 28. oldal)

<sup>10</sup> Franciaországban és Nagy-Britanniában a volt gyarmati országokból beözönlő elsősorban afrikai és arab lakosság, Németországban a török kisebbség, míg Olaszországban a román vendégmunkások okoznak komoly társadalmi gondokat. A 2011 tavaszán Észak-Afrikában kialakult helyzet következtében humanitárius katasztrófa fenyeget, két hónap alatt közel 5500 menekült érkezett az európai kontinensre. (Forrás: [http://kitekinto.hu/iszlam/2011/03/02/kovetkez\\_megallo\\_lampedusa\\_-\\_vegallomas\\_eu/](http://kitekinto.hu/iszlam/2011/03/02/kovetkez_megallo_lampedusa_-_vegallomas_eu/) Letöltés ideje: 2011.03.09.)

## Környezeti biztonság és az emberi egészség

A klímaváltozás egyik legszembetűnőbb következménye az extrém időjárási jelenségek gyakoribbá válása, bár meg kell jegyezni, hogy hasonló jelenségek korábban is voltak, ma azonban a média hatására sokkal szélesebb réteg számára érhetőek el az információk. Az ezek következtében hirtelen nagy mennyiségben lehulló csapadék – akár eső, akár hó formájában – komoly gondokat okozhat, hiszen az esőzések hatására rendszeresek az árvizek a Kárpát-medencében. Az éghajlatváltozás által előidézett váratlan, komoly mennyiségű eső, illetve a meglepetésszerűen érkező és olvadó hó nagy árhullámokat indíthat el folyóinkon, vagy akár a kis patakok esetében<sup>11</sup>. Az *árvíz* elleni védekezés során nem csak a valós fizikai tevékenység hangsúlyos, hanem a hazánk és a környező országok viszonya egyaránt meghatározó, mivel a szorosabb együttműködés nagyban hozzájárulhat a következmények és károk mérsékléséhez.

Az áradások mellett a másik fontos problémát a sűrűsödő *belvizek* idézik elő. Elsősorban a mélyen fekvő területek válhatnak a belvíz áldozatává a hirtelen nagy mennyiségű csapadék hullása következtében. A talaj nem képes felszívni az összes vizet, így egy idő után telítetté válik és kialakul a belvízi jelenség. A szélsőséges időjárás gyakoribbá válásával párhuzamosan jelenik meg egyre nagyobb területeken a belvíz, melyhez az emberi tevékenység – a termőterületek kimerítése, erdőségek kiirtása, valamint a csatornarendszerek karbantartásának elmulasztása – nagyban hozzájárul.

Anyagi oldalról vizsgálva nagy károkat tud okozni, hiszen a hetekig víz alatt álló, felázott épületek amortizálódnak, összedőlnek vagy lakhatatlanná válnak. A mezőgazdasági termények tönkremennek, ezzel súlyos gazdasági nehézségeket okozva. Ezen területhez kapcsolódva meg kell említeni még egy másik, hasonlóan fontos következményt, a szikesedést. A talaj terméketlenné válása elsősorban a belvíz sújtotta területeken jellemző, mivel a víz – napsütés hatására történő – elpárolgása, után a hátramaradt só telítetté teszi a talajt, amely így alkalmatlanná válik a további megművelésre. Következésképpen nagy mennyiségű termőföld válik használhatatlanná, amely közvetlenül a hazai gazdaságra is hatást gyakorol.

Ugyan a biztonság kérdéséhez csak közvetetten kapcsolódik, mégis ki kell emelni az éghajlatváltozás *emberi szervezetre gyakorolt* káros *hatásait*. A gyakoribbá váló hőhullámok, szélsőséges időjárási jelenségek és a gyorsan váltakozó frontok negatívan befolyásolják az egészségünket. A magas hőmérséklet növelheti az idő előtti halálozások és megbetegedések számát. Elsősorban a kisgyerekek, az idősek és a krónikus betegségben szenvedők vannak kitéve az időjárás okozta terhelésnek, ugyanakkor az egészséges szervezeteket egyaránt megviseli a hirtelen hőmérsékletváltozás, az erős frontok átvonulása vagy a tartós meleg.

Az elvékonyodott sztratoszférikus ózonzóréteg miatt a sugárzás erőssége nagymértékben megnőtt, mely a bőrrák (melanoma) és a szürkehályog gyakoribbá válásához vezet. Mára nem csak a hosszan tartó napozás, hanem a rövid ideig tartó napon tartózkodás is komoly veszélyeket hordoz magában, hiszen az elmúlt években többször is megközelítette a légköri ózon koncentrációja az egészségügyi határértéket. A melegebb nyarak és enyhébb telek jó táptalajjal szolgálnak a baktériumoknak, vírusoknak és egyéb kórokozónak, ezzel növelve a fertőző betegségek elterje-

<sup>11</sup> 2010. május-júniusában a folyamatos esőzések hatására számtalan patak (pl. Bódva, Szinva, Tardona) a többszörösére duzzadva kilépett medréből. Az áradások több milliárdos kárt okoztak országszerte.

dését, lefolyásuk intenzitását. Itt külön ki kell emelni az árvíz és belvíz sújtotta területeket, ahol amúgy is rendkívül magas a járványok kialakulásának kockázata és – a megfelelő óvintézkedések megtételének hiányában – gyors terjedésének veszélye. Az allergiát okozó pollenek kiporzási időszaka és mennyisége módosulhat a melegedő tendencia hatására. A felszín közeli ózon, a nitrogén és a dinitrogén-oxid koncentrációjának növekedése – a hosszantartó napsütés és csekély légmozgás hatására elsősorban a nagyvárosokban – szmog<sup>12</sup> jelenség kialakulásához, valamint a légzőszervi megbetegedések gyakoribbá válásához vezethetnek.

### **Kritikus infrastruktúra védelem**

Az elmúlt években, évtizedekben rohamosan nőtt az úgynevezett kritikus infrastruktúrák (a továbbiakban KI) megóvása érdekében tett intézkedések száma, mely nagyrészt a fokozódó terrorcselekményeknek, valamint a természeti és mesterséges katasztrófák kialakulásának köszönhető. A kritikus infrastruktúra fogalmát többek között a „Zöld könyv a kritikus infrastruktúrák védelmére vonatkozó nemzeti programról” dokumentum írja le.

*„Kritikus infrastruktúrák alatt olyan, egymással összekapcsolódó, interaktív és egymástól kölcsönös függésben lévő infrastruktúra elemek, létesítmények, szolgáltatások, rendszerek és folyamatok hálózatát értjük, amelyek az ország (lakosság, gazdaság és kormányzat) működése szempontjából létfontosságúak és érdemi szerepük van egy társadalmilag elvárt minimális szintű jogbiztonság, közbiztonság, nemzetbiztonság, gazdasági működőképesség, közegészségügyi és környezeti állapot fenntartásában.*

*Kritikus infrastruktúráknak minősülnek azon hálózatok, erőforrások, szolgáltatások, termékek, fizikai vagy információtechnológiai rendszerek, berendezések, eszközök és azok alkotó részei, melyek működésének meghibásodása, megzavarása, kiesése vagy megsemmisítése, közvetlenül vagy közvetetten, átmenetileg vagy hosszútávon súlyos hatást gyakorolhat az állampolgárok gazdasági, szociális jólétére, a közegészségre, közbiztonságra, a nemzetbiztonságra, a nemzetgazdaság és a kormányzat működésére.” [14]*

A KI tehát felölel minden olyan ágazatot, mely az állam működőképességében kulcsszerepet játszik. A KI területei közé tartozik az energetika, vagyis a kőolaj- és földgáz kitermelés, tárolás, szállítás, elosztás, valamint a villamosenergia-termelés, átvitel és elosztás. A klímaváltozás hatására kialakuló extrém időjárási jelenségek fokozottan veszélyeztetik ezt a területet, hiszen a felsővezetékek könnyen leszakadhatnak a heves széllekeésektől, a hó vagy ónos eső okozta terheléstől, míg a csővezetékek földfelszín feletti részei ki vannak téve a szélsőséges hőmérsékleti viszonyoknak, a felszín alatti részeket pedig az elhúzó belvíz korrodálhatja. Az infokommunikációs technológiák közül ki kell emelni a távközlési és internetes szolgáltatást, melynek légvezetékes egységeit az előbbiekben vázolt módon befolyásolhatja a klíma

<sup>12</sup> A „londoni-típusú” vagy redukáló szmog szélcsendes, magas páratartalmú és hűvös (-3+5 °C) időjárás esetén alakul ki; a fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor korom és por kerül a levegőbe, amely elősegíti a kondenzációs magok elszaporodását, ezek mellett jelentős kén-dioxid szennyezést is okoz. A „los angeles-i típusú” vagy fotokémiai szmog kialakulásához elengedhetetlen az erős besugárzás, a gyenge légmozgás, az anticiklonális helyzet és a közlekedés által kibocsátott szennyező anyagok jelenléte. A napsütés hatására fotokémiai folyamatok indulnak meg a légkörben, melynek eredményeképpen a nitrogén-dioxidból ózon keletkezik. (Forrás: <http://www.idokep.hu/hirek/a-szmog> Letöltés ideje:2011.03.09.)



átalakulása. A postai szolgáltatás folyamatossága könnyen veszélybe kerülhet egy szélsőséges vihar vagy havazás következtében, különösen fontos ez a nehezen megközelíthető, illetve zsáktelepülések esetén.

A közlekedési szektort mindenképp negatívan befolyásolja az átlaghőmérséklet megváltozása, mivel a szerkezeti elemek és alapanyagok megválasztása kulcsfontosságú szerepet játszanak a biztonságos és hosszú távú működés szempontjából. Mind a vasúti, közúti, mint pedig a légi közlekedés zavartalanságát érinthetik az időjárási viszonyok, amely akár a teljes közlekedés lebénulásával, ezzel párhuzamosan pedig az alapvető szolgáltatások (egészségügy, élelmiszer és vízellátás stb.) akadozásával járhatnak.

A vízzel kapcsolatos kritikus infrastruktúra elemek között említhető az ivóvíz szolgáltatás, illetve ennek műszaki egységei, melyekre negatívan hathatnak a már felsorolt jelenségek (pl. csővezetékek). A szennyvízelvezetés- és tisztítás szempontjából az extrém hőmérsékletek kiemelten fontosak, hiszen a biológiai szennyvíztisztítók működési hatékonysága egy meghatározott hőmérsékleti intervallumban a legnagyobb, túl hidegben befagyhat a bioreaktor, valamint lelassul a mikroorganizmusok tevékenysége, míg túl melegben oxigénhiány léphet fel. Az árvízvédelmi töltések és gátak állapotát nagyban befolyásolják az időjárási jelenségek, például a heves esők fokozzák a rézsűk erózióját.

Az élelmiszer, mint kritikus infrastruktúra terület tekintetében problémák adódhatnak a termeléssel a már említett szikesedés, vagy éppen viharok, jégverések okozta terménypusztulás következtében, valamint a fogyasztókhöz való eljuttatásával a közlekedési szektor akadozása esetén. Az egészségügyi ellátás folyamatosságát, a megfelelő gyógyszer és vérvészletek fenntartását szintén nehezítik az extrém időjárási jelenségek, valamint az ezek következtében az egészségügyi ellátást igénybe vevők tömegének megjelenése, például kánikulában az ájulások esetek, ónos esők esetén a zúzódásos és töréses beteges száma megsokszorozódik. Az ipari egységek fizikai biztonságát veszélyeztetik a nagy viharok, tornádó erejű szél, a heves esőzések hatására kialakuló ár- és belvízi jelenségek, illetve sárlavinák, földcsuszamlások. A jogrend és kormányzat, valamint közbiztonság- és védelem szektorokat közvetetten érinthetik a klímaváltozás másodlagos hatásai, elsősorban a komplex problémák okozhatják ezek ágazatok munkájában való fennakadást.

Összegezve tehát a rendkívül összetett kritikus infrastruktúra rendszer elemeire a klímaváltozás másodlagos hatásaként mind a hőmérséklet emelkedése, mind pedig az szélsőséges időjárási jelenségek komoly nehézségeket okoznak, ezzel veszélybe sodorva az állam működőképességét, és a lakossági, valamint gazdasági ellátó rendszerek folyamatosságát.

## ÖSSZEGRZÉS

Az éghajlatváltozás kérdése nem új keletű probléma, a kezelésére és a csökkentésére tett lépések meghozatala mégis lassú folyamatok eredményeképpen születtek és születnek meg még ma is, hiába készülnek átfogó elemzések a várható következményekről és a jövőre vonatkozó scenáriókról.

A globális klímaváltozás hatása csak úgy, mint a Föld többi pontjára, a Kárpát-medencére nézve is sok hátránnyal jár. Új kihívásokkal kell megküzdenünk, melyek komoly hatást gyakorolnak a térség, és egyben hazánk biztonságára. Az éghajlati átalakulás okozta fokozódó migráció, a

stratégiaiilag fontos édesvíz-készletek, a katonai erő „akklimatizálása” és a katasztrófa-elhárítási feladatokba való nagyobb arányú bevonás igénye, valamint a természeti jelenségek (viharok, ár-és belvív) okozta emberi és anyagi károk mind újabb és újabb nehézségek elé állítják a Kárpát-medence országainak vezetését és lakosságát. Ezen problémák – a biztonság komplexitása következtében – szorosan összefüggnek, egymástól nem választhatók szét.

A klímaváltozás hatásainak megszüntetése már nem lehetséges, csak a mértékének csökkenése, illetve a tendencia lassítása képzelhető el, ehhez azonban nemzetközi szintű együttműködés lenne szükséges. Jelenleg ilyen jellegű összefogás még nincs, és amíg nem születik tényleges cselekvésekre irányuló megállapodás a világ vezető államai között, addig csak nemzeti vagy regionális szintű terveket lehet végrehajtani. Ez Magyarország esetében nehézkes, mivel a régió államai nehezen hajlanak az együttműködésre, így a hatékony cselekvést gátolják és számtalan előnyös lehetőségtől esnek el. Következésképpen az országok – regionális szinten – egyedül maradnak a klímaváltozás mérséklésére törekvő harcban, önkéntelenül is korlátozva ezzel a mozgásterüket.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] The Discovery of Global Warming (2011. február) Forrás: <http://www.aip.org/history/climate/20ctrend.htm> (2012.01.20.)
- [2] VAHAVA projekt összefoglalása, 8-13. oldal Forrás: <http://klima.kvvm.hu/documents/14/VAHAVAosszefoglalas.pdf>. (2010.08.15.)
- [3] <http://index.hu/tudomany/kornyezet/bali071215/> (2010.10.18.)
- [4] <http://www.alternativenergia.hu/ma-kezododik-a-16-ensz-klimavaltozasi-konferencia/26430> (2010.12.12.)
- [5] <http://www.origo.hu/itthon/20091219-koppenhagai-klimakonferencia-zarodokumentum-nincs-komoly-egyezeseg-a-koppenhagai-egyezmeny-szovegeben.html> (2010.10.18.)
- [6] [http://index.hu/gazdasag/vilag/2010/12/11/ketszazalekos\\_felmelegedes\\_meg\\_belefer/](http://index.hu/gazdasag/vilag/2010/12/11/ketszazalekos_felmelegedes_meg_belefer/) (2010.12.12.)
- [7] <http://www.portfolio.hu/tool/print/2/142764> (2010.12.12.)
- [8] Hanna GERSMANN, John VIDAL: Q&A: Durban COP17 climate talks Forrás: <http://www.guardian.co.uk/environment/2011/nov/28/durban-cop17-climate-talks> (2012.01.21.)
- [9] Eugene ROBINSON: Reason to smile about the Durban climate conference [http://www.washingtonpost.com/opinions/reason-to-smile-about-the-durban-climate-conference/2011/12/12/gIQA80nZqO\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/opinions/reason-to-smile-about-the-durban-climate-conference/2011/12/12/gIQA80nZqO_story.html) (2012.01.21.)
- [10] Az Éghajlatváltozási Kormányközi testület (IPCC) negyedik értékelő jelentése – a munkacsoportok döntéshozói összefoglalói: Éghajlatváltozás 2007, Forrás: [http://klima.kvvm.hu/documents/92/\\_ghajlatv\\_ltoz\\_s\\_2007\\_.pdf](http://klima.kvvm.hu/documents/92/_ghajlatv_ltoz_s_2007_.pdf). (2010.08.15.)
- [11] VAHAVA projekt összefoglalása, Forrás: <http://klima.kvvm.hu/documents/14/VAHAVAosszefoglalas.pdf> (2010.08.15.)
- [12] A Kormány 1035/2012. (II. 21.) Korm. határozata Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról Forrás: [http://www.kormany.hu/download/f/49/70000/1035\\_2012\\_korm\\_határozat.pdf](http://www.kormany.hu/download/f/49/70000/1035_2012_korm_határozat.pdf) (2012.03.13.)
- [13] Padányi J.-Kohut L.-Koller J.-Lévy G.: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására, Védelmi tanulmányok No. 63., ZMNE SVKI, Budapest, 2010. ISBN:978-963-7060-97-7, 28. oldal
- [14] 2080/2008. (VI. 30.) Korm. határozat a Kritikus Infrastruktúra Védelem Nemzeti Programjáról Forrás: [http://www.bm.hu/web/jog\\_terv.nsf/0/19659F03FD726909C12574C20034751C/\\$FILE/2080\\_2008\\_Korm-hat.pdf](http://www.bm.hu/web/jog_terv.nsf/0/19659F03FD726909C12574C20034751C/$FILE/2080_2008_Korm-hat.pdf) (2012.03.20.)

Márton Andrea<sup>1</sup>

## AZ ÉSZAKI-SARK A SKANDINÁV ÁLLAMOK SZEMSZÖGÉBŐL NÉZVE<sup>2</sup>

*A szerző bemutatja az éghajlatváltozás hatására lezajló változásokat az Északi – Sark régióban. Bár a kiemelés szubjektív mégis képet a régió helyzetéről a skandináv államok szemszögéből. A téma jelentőségét az adja, hogy a világ legrégebbi és legkiterjedtebb együttműködése van az északi országok között, amelyek mégis eltérő célokat fogalmaztak meg a változások kezelésére. A Stoltenberg jelentés, a régió áttekintése katonai szempontból és az északi országok Arktisz stratégiai lehetőségeit teremtene az együttműködés továbbfejlesztésére.*

### **THE ARCTIC IS FROM THE PERSPECTIVE OF THE SKANDINAVIAN STATES**

*In this article of author presents the occurring changing by the effect of the climate change in the Arctic region. Although the highlighting of the subjective view, still the picture about the situation of the region from the perspective of the Scandinavian states. The importance of theme has given that the world's the oldest and the most extensive cooperation is between the Nordic countries that they formulated different targets into change management. The Stoltenberg report and overview of the region from military point of view and Arctic's strategy of the northern countries has given possibility for the further developing.*

Az elmúlt évtizedben valami jelentős változás történt Földünkön. 2006-2009 között az északi nyáron nagy kiterjedésű nyílt víztükör jelent meg az Északi-Sark körül. Az átjáró, amely az Atlanti-óceánt a Csendes-óceánnal köti össze megnyílt. Ez lehetővé tette az áthajózást az egyik óceánról a másikra, a Panama csatorna vagy a Jóreménység fok érintése nélkül. Az Északi-Sarkon bekövetkező változások hatással vannak a skandináv államok biztonság- és védelempolitikájára. Az északi országokat általában homogén ország csoportnak tartja a külső szemlélő azonban, mint ez kérdés is mutatja, stratégiai gondolkodásukban változatos álláspontot képviselnek. Ebben a tanulmányban az északi országok<sup>3</sup> stratégiai dokumentumából, illetve a Stoltenberg jelentésből néhány általam fontosnak tartott részt emelek ki. Bár a kiemelés mindig szubjektív, úgy gondolom, hogy ezek az elemek jól jellemzik a skandináv államok viszonyát a kérdéshez.

Mielőtt azonban az egyes országok hozzáállását vizsgálnám meg, áttekintem, mi történik az északi-sarki régióban és milyen kihívásoknak kell megfelelni. Az Északi-Sark sérülékeny növény- és állatvilága, valamint az ott élő népcsoportok komoly károsodást szenvednek a globális felmelegedés hatására kialakuló éghajlatváltozás miatt. Számos faj kerül fel az úgynevezett vörös listákra. Az Északi-Sarkkör régiója a szárazföldön is számos változást ér meg. Jelenlegi tundra növényzet pusztul és számos állatfajának, mint például a jegesmedvék és egyes foka fajták száma csökken. Bár vannak sikeresebb fajok, mint a sarki róka melynek hosszú idő óta először nőtt az egyed száma. A növényzet is változik, bár itt az őshonos fajták csökkenése kevésbé látványos. Azonban az

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi Doktori Iskola, PhD hallgató, andrimarton@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Padányi József, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Ebben a tanulmányban a skandináv országok és az északi országok kifejezést azonos jelentéstartalommal használom.

éghajlatváltozás hatására az elmúlt száz évben betelepített növényfajták, jobb túlélő képességükkel kiszorítják az őshonos fajtákat, ami évtizedek alatt a biodiverzitás csökkenéséhez vezet. Természetesen az északi országoknak nemcsak ezek a természetvédelmi kérdések okoznak gondokat. A környezeti változások biztonságpolitikai változásokat is előidéznek. Mielőtt azonban ezeket a változásokat ismertetném térképen is tekintsük át a régiót.



1. térkép Az Északi-Sark térképe<sup>4</sup>

Mint a térkép is mutatja, a legnagyobb szárazföldi partszakasszal a térségben Oroszország rendelkezik és így megkerülhetetlen szereplője az Északi-Sark területével összefüggő ügyeknek. Habár ennek a tanulmánynak nem feladata Oroszország stratégiáját bemutatni, mégis fontos megjegyezni, hogy a skandináv államok biztonsága és a térség szempontjából kiemelt tényező. Az északi államok közül Norvégia, Izland és Dánia rendelkezik tengerparti és tengeri területtel az Északi-Sarkon, míg Svédország, Finnország nem. Fontos megjegyezni, hogy az utóbbi két állam is rendelkezik sarkkörön túli területekkel. Az Arktisz nyugati oldalán található két NATO-tagállam Kanada és az Egyesült Államok stratégiát szintén nem tartalmazza a tanulmány azonban ahol, érintik, a skandináv államok stratégiáit megemlítsük.

<sup>4</sup> Forrás: <http://www.geographicguide.com/arctic-map.htm> letöltési idő: 2011-12-03 20:33

A biztonságpolitikai változások egy része a hidegháború időszakának lezárása után, más része a környezeti változások hatására következett be. A hidegháború végével elindult politikai változások nem hagyták érintetlenül a skandináv államokat sem. Elég arra gondolni, hogy Finnország és Oroszország kétoldalú kapcsolatokat<sup>5</sup> létesítettek egymással, illetve az 1990-es évek közepén Svédország és Finnország az Európai Unió (EU) tagjai lettek. Ugyanakkor javult a NATO-tagállam Norvégia és Oroszország<sup>6</sup> kapcsolata, valamint a NATO<sup>7</sup> kapcsolatot épített ki a semleges Svédországgal és a „katonailag el nem kötelezett” Finnországgal.<sup>8</sup> Míg ezek a változások nem rengették meg a térség stabilitását, hanem inkább szorosabbra fűzték az északi államok hagyományosan jónak mondott együttműködését, úgy tűnik, hogy a globális felmelegedés hatására bekövetkező változások sokkal inkább képesek lesznek erre. A környezeti biztonság kérdése az arktiszi régió stratégiai felértékelődése, a megújuló erőforrásokért indult küzdelem új kihívások elé állítja a régió országait. A környezeti változások azonban újabb és a gazdaságra, a politikára és a társadalomra egyaránt hatással vannak. Az édes és felszín alatti vizek védelme, a biodiverzitás, a szerves és a szervesetlen hulladékok újrahasznosítása, valamint a Balti-tenger eutrofizációjának csökkentése jelentős szabályozási mechanizmusok kiépítését és anyagi erőforrásokat követel meg.

A XXI. század első évtizedében felértékelődött a szénhidrogén tartalékok és a megújuló erőforrások utáni kutatás. Az arktiszi régióban a kutatások kimutatták, hogy a világ olaj- és gázkészleteinek cca. 30%-a található a tengeri talapzatban. A versenyfutás ezekért az erőforrásokért a katonai válságokat sem zárják ki teljesen. Bár, ez a NATO-tagállamok és partnerországok esetében furcsának hat, de a katonai bemutatásánál még visszatérek rá. A megújuló erőforrások megszerzése, beleértve a tengeri áramlatok által keltett energiák kihasználását is szintén kérdésessé teszi a régió biztonságát. Az Arktisz szempontjából fontos, hogy a Déli-Sarkkal szemben nincs kötelező érvényű megállapodás róla. Az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) egy hosszú egyeztetési folyamat során hozta létre a Tengerjogi Konvenciót[1], melyet a térségben érdekelt Amerikai Egyesült Államok nem ratifikált. 1958-ban meghatározták meg a tengeri talapzat fogalmát is. Erre a hidegháború időszaka alatt a bipoláris szembenállás miatt volt szükség, jelenleg pedig ez a cikk az irányadó a tengeri határvonalak és a különböző övezetek kialakításánál. A tengerfenék kutatása és feltárása, valamint a használata szempontjából létrejött egy fontos 21 tagú tudományos testület a Kontinentális Talapzat Bizottsága. A bizottság dönt a Tengerjogi Konvenció szabályai és a bemutatott bizonyítékok alapján a vitatott tenger alatti területek hovatartozásáról. A bizottság munkája az elmúlt évtizedben egyre fontosabbá vált, hiszen döntöttek Norvégia és Oroszország között fennálló 235 000 km<sup>2</sup> tenger alatti terület hovatartozásáról is.<sup>9</sup> A megújuló erőforrások közül nemcsak a tengeri áramlatok keltette, valamint a szélenergiának van jelentősége, hanem a halászatnak is.

<sup>5</sup> Finnország és Oroszország között 1948-tól 1992-ig barátsági szerződés állt fenn, amely részlegesen korlátozta Finnország szuverenitását. A szerződés szövegét lásd: Halmosy D: Nemzetközi Szerződések 1945-1982, Gondolat Budapest, 1985, 148-150. oldal

<sup>6</sup> A két ország több vitatott tengeri terület hovatartozásáról állapodott meg. Számos kétoldalú szerződést kötöttek.

<sup>7</sup> NATO: North-Atlantic Treaty Organization

<sup>8</sup> Finnország és Svédország részt vett a NATO koszovói és afganisztáni műveleteiben.

<sup>9</sup> Norvég területelhódítás Oroszországtól: [http://nol.hu/kulfold/norveg\\_terulethoditas\\_orszorszagtol](http://nol.hu/kulfold/norveg_terulethoditas_orszorszagtol) letöltési idő: 2009-04-18

Fontos szempont, hiszen a skandináv országok számára jelentős bevételi forrást jelent. A halban gazdag arktiszi vizek és a rendelkezésre álló terület egy részének vitatott hovatartozása és a halászati kvóták mennyisége és értékesítése szintén a térség problémái közé tartozik. A halászati kérdésekkel összefüggő ügyek egy részét az Európai Unió szabályai alapján, más részét kétoldalú szerződések formájában rögzítik.

Mielőtt a katonai szempontokra rátérek, ismertetem a Stoltenberg jelentés [2] Arktisszal és Izlanddal kapcsolatos részét. Ez azért is fontos, mert a több északi ország védelmi minisztere és külpolitikai szakértője szerint inkább a norvég érdekeket jeleníti meg. A dokumentum olyan részeket is tartalmaz, amelyek segítenek a megérteni ezen országok hozzáállását az Arktisz kérdéséhez. A jelentés 13 pontban jeleníti meg az együttműködés lehetőségeit. A dokumentum II. fejezete az izlandi légtér védelméről szól. Izland olyan stratégiai helyen helyezkedik el a régióban, amely a jövőben egyre nagyobb figyelmet kap. Miután az Amerikai Egyesült Államok 55 év után visszavonta csapatait Keflavík bázisról a szigetország légtérének és a körülötte elterülő tengeri övezet védelméről és ellenőrzéséről gondoskodni kell. Az amerikai haderő távozása után a bázis létesítményeinek működtetése az Izlandi Védelmi Ügynökség hatáskörébe került. Izland, hogy képes legyen ellátni a feladatot gyakorlati segítséget kért és kapott Norvégiától és Dániától. 2009-ben Dánia, Spanyolország, az Egyesült Államok részvételével vadászrepülőgépeket telepítettek Keflavík bázisra. 2010-ben mind az Egyesült Államok, mind Németország megerősítette szándékát a légtér ellenőrzésre, ugyanakkor más államok is érdeklődtek a projekt iránt. A norvég, svéd és finn vezérkari főnök által készített jelentés javasolta, hogy a skandináv országok között erősítsék meg az együttműködést, valamint a légtér felügyeletet. Rövidtávon Finnországnak és Svédországnak megállapodást kell kötni a NATO-val a légtérrel kapcsolatos adatok cseréjéről. A megállapodás megtörtént. A vezérkari főnöki jelentés másik két javaslata, mely szerint az infrastruktúra fejlesztése és a szabályozások összehangolására mindenképpen szükség van. Az északi országoknak folyamatosan együtt kell működni ebben a kérdésben. A jelentés III. fejezete foglalkozik a Sarkvidékkel kapcsolatos feladatokkal. Bár az északi államok úgy gondolják, hogy számos kérdést az Északi-Sark Tanácsban kell megoldani, mint például a környezetvédelem vagy a mentési és keresési képességek. A tengeri monitoring rendszer kiépítése számukra mégis az országaik közötti együttműködés egyik fontos építőköve. A geostratégiai felértékelődő tengeri terület az északi jégsapka csökkenésével párhuzamosan nő. A régióban található kőolaj és földgáz lelőhelyek kiaknázása, az Észak-nyugati Átjáró megnyílása rendkívül megnöveli a biztonsági kockázatokat. A jelenlegi regionális előrejelző rendszerek legfőbb korlátja, hogy nem adnak átfogó képet a tengeren zajló eseményekről. A jelenlegi rendszerben mivel minden ország nem tagja így az információcsere korlátozott. A haderő szerepe rendkívüli a tengeri területek ellenőrzésében. A jelenleg üzemelő struktúrában a katonai rendszerek nagy mennyiségű információt gyűjtenek össze, melynek kezelését is meg kell oldani, hiszen a haderő számára csak másodlagos jelentőséggel bírnak, ugyanakkor az adatok egy része elsődleges lehet a környezetvédelem, a halászati ipar és a logisztika számára. Továbbá, nem elhanyagolható szempont a gazdasági és környezeti biztonság kapcsolatos kérdések megoldása. A skandináv országok között fennálló regionális együttműködés lehetőséget adhat a megfelelő tengeri monitoring rendszer kidolgozására. Az integrált rendszerek fejlesztését és a regionális kooperációt támogatja az EU is. Az EU-nak azonban van egy másik szempontja is a schengeni külső határok védelme. Ennek érdekében az északi országoknak támogatást nyújt nemzeti és regionális felügyeleti rendszereik összehangolásához. A jelenlegi

tengeri monitoring rendszerek összehangolása, mind katonai, mind polgári területeken illeszkedik az Európai Unió hosszú távú célkitűzései közé. Az északi regionális együttműködés keretében úgy kell fejleszteni 2009-2016 között a rendszert, hogy minden skandináv állam integrálható legyen bele, és biztosítsa az információ cserét Kanadával, Oroszországgal és az Egyesült Államokkal. Miután a skandináv régióban már működik a monitoring rendszer, illetve annak egyes elemei logikus lépés egy tengeri gyors reagáló erő létrehozása. A tengeri reagáló erő elsősorban a kutatási és mentési, valamint a járőr feladatok ellátását végezheti az északi tengereken. Ennek első lépcsője egy közös mentési koordinációs központ létrehozása. A koordinációs központ azért fontos, mert Dánia/Grönland, Norvégia, Izland rendkívül nagy tengeri területeket kell, hogy ellenőrizzen meg lehetőségen rossz időjárási körülmények között. Amennyiben, az éghajlatváltozás miatt újabb tengeri útvonalak nyílnak meg az északi tengereken keresztül a Csendes-óceán felé a tengeri reagáló erő létrehozása egyre fontosabb lesz. További feladatot jelent a jégtörő kapacitás kifejlesztése.

## AZARKTISZKATONAI SZEMPONTBÓL

A hidegháború időszaka alatt a szembennálló nagyhatalmak a Szovjetunió és az Egyesült Államok jelentős haditengerészeti erőket állomásoztattak a régióban. A korai előrejelző rendszerek figyelték a nukleáris töltetekkel felszerelt tengeralattjárók mozgását. Norvégia NATO-tagállamként az egyetlen skandináv ország volt a térségben, amely határos volt a Szovjetunióval és szárazföldi, valamint tengeri területein tartott hadgyakorlatok közben meg lehetett figyelni az ellenfelet. Az 1990-es években bekövetkezett geopolitikai változások miatt a térség egyre több kihívással néz szembe. Ennek elsődleges oka a Szovjetunió megszűnése és Oroszország megszületése. Az orosz érdekek érvényesítése újra indíthatja a nagyhatalmi vetélkedést. Másodsorban a kőolaj és földgáz tartalékok kiaknázása és a megújuló energiaforrásokért folytatott verseny, harmadszor pedig a megnyíló szállítási útvonalak használata, a halfajokban gazdag északi – tengeri vizek halászati jogaiért folytatott verseny és nem utolsósorban a globális felmelegedés eredményeként az őshonos népek között kialakuló konfliktusok és mindezek együttes hatásai.[3] Katona stratégiai szempontból rendkívül fontos az Arktisz térsége. A hidegháború időszaka alatt számos haditengerészeti bázis létesült a régióban. Ezek közül a legnagyobb, amely ma is teljes kapacitással működik az Északi Flotta bázisa a Kóla-félszigeten. A flotta jelenlegi erőcsoportosítása nagyobb, mint a régió összes országának a térségben állomásoztattott erőcsoportosítása. Az Északi Flotta alárendeltségébe tartozik Oroszország legnagyobb stratégiai tengeralattjáró egysége.[4] A flotta tengeralattjárói változatos feladatokat hajtottak és hajtanak végre ma is az Arktisz jégsapkája alatt. A hidegháború ideje alatt a szembennálló nagyhatalmak között rendszeresek voltak a légi és a tenger alatti konfrontációk, azonban stratégiai érdekeik miatt a régióban nem történt háborús konfliktus. Az arktiszi térségnek van katonai szempontból egy stratégiai jelentőségű szigete a Svalbard. A területet az 1920-ban Párizsban aláírt Svalbard egyezmény [5] csatolta a Norvég Királyság területéhez. Az egyezmény IX. cikke megtiltja Norvégiának, hogy a sziget területén katonai bázist alakítson ki. Ugyanez a cikk azt is kimondja, hogy Norvégia semmilyen háborús tevékenységet nem folytathat a szigeten. A X. cikk kimondja, hogy az egyezményhez Oroszország ugyanazokkal a feltételekkel csatlakozhat, mint az aláíró felek.



2. térkép Svalbard - szigetek<sup>10</sup>

Norvégia értelmezése szerint az egyezmény maga a kihívás a Svalbard-szigetek katonai jelentőségén túl. A védelmi célú katonai intézkedéseket a szerződés nem fedi le. A szigetcsoport különleges helyzetét az adja, hogy az orosz Északi Flotta mellette halad el, amikor az a Kóla-félszigeti bázisáról Arktiszon keresztül kihajózik az Északi-tengerre. A skandináv államok által tervezett tengeri monitoring rendszer egyes katonai részeit is ide kellene telepíteni azért, hogy segítse a tengeri tájékozódást, szélsőséges körülmények között képet adjon a biztonsági helyzetről. Azonban a sziget katonai célú használata a párizsi egyezmény megsértését jelenti. Mivel a szigetcsoport a Norvégia autonóm területe, így a parti őrség, a légierő és a haditengerészet rendszeresen meglátogatja a szigeteket, néhány évente hadgyakorlatot is tartanak a térségben. Amennyiben idegen katonai erő vagy hajó lépne be a Svalbard-szigetek körül Norvégia felségvizeire azt csak diplomáciai engedéllyel teheti meg.

## LEHETSÉGES KONFLIKTUSOK AZ ARKTISZON

A lehetőségét annak, hogy északi-sarki régióban konfliktusok vagy kisebb – nagyobb intenzitású válságok alakuljanak a globális felmelegedés okozta éghajlatváltozás teremti meg. A válságok oka egyértelműen a szén – hidrogén készletek, a tengeri erőforrások birtoklása és a hajózási útvonalak fölötti ellenőrzés megszerzése. Átland írja egyik tanulmányában[6]: Az állam által megfogalmazott biztonság nem azonos a különböző szektorok és érdekcsoportok által megfogalmazott biztonsággal. Gyakran előfordul, hogy valamelyik társadalmi csoport hangot ad a biztonság igényeire.

<sup>10</sup> Forrás:

<http://www.globalsecurity.org/jhtml/jframe.html#http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/images/sv-map-3.jpg> letöltési idő: 2012-02-01 20:38



nyének valamilyen folyamatban levő projekt miatt. Ez azonban nem azonos az állam által képviselt politikai és a fegyveres erő alkalmazásához kötött biztonsági követelményekkel. Míg az állam által elfogadható biztonság és a „hozzákapcsolódó létesítmények” az ország és adott esetben a régió stabilitását jelentik, addig az energia biztonság az iparági szereplők számára vagy a környezeti biztonság a különböző nem-kormányzati szervezetek (NGO) számára mást jelent. Az Arktiszon a fenyegetések nemcsak állami, hanem társadalmi szinten is megjelenhetnek.

### **Hozzáférés a szénhidrogén erőforrásokhoz**

2008 márciusában az Európai Unió megjelentetett egy jelentést Éghajlatváltozás és nemzetközi biztonság címmel, amely érinti az Északi-Sark helyzetét. A jelentés megfogalmazta, hogy a verseny a régióban ismerté vált szénhidrogén tartalékokért növeli a térség geostratégiai jelentőségét és ennek következményei vannak a nemzetközi stabilitásra és biztonságra. A skandináv államok szempontjából az leginkább Norvégiát érinti, hiszen az országnak jelentős tengeri területei vannak, ahol a fent említett erőforrások előfordulhatnak. A többi északi ország (Izland, Dánia, Svédország, Finnország) számára ezek a viták, akkor válnak jelentőssé biztonság- és védelempolitikai szempontból, amennyiben az EU és a NATO is részt vesz bennük. További problémákat jelenthet a skandináv államok számára, de a többi arktiszi országnak is egy-egy új régió kívüli szereplő megjelenése. 2030-ig várható, hogy a régióban az erőforrásokért kisebb-nagyobb konfliktusok kialakulhatnak.

### **Konfliktus tengeri erőforrásokért**

Az északi-sarki tengerek a világ leggazdagabb halban leggazdagabb vizei. A régió államainak fontos bevételi forrása a kereskedelmi halászat. A kereskedelmi célú halászat az Északi-Sark Tanács jelentése[7] szerint különösen elterjedt a Norvég- és a Barents-tengeren, valamint a Bering-tenger keleti részén. Az éghajlatváltozás hosszú távú hatással van az itt élő halfajokra. A halak vándorlása, ívási szokásaik, illetve a halászati idény változása vagy a halban gazdag vizek csökkenése halászati vitákhoz vezethet a régió államai között. A halászati jogok körüli viták nem újjak a térségben.<sup>11</sup> Az elmúlt évtizedekben a halászati viták ritkán nőttek arra a szintre, ahol már a katonai erő alkalmazása elkerülhetetlen. Természetesen az éghajlatváltozás hatására a halrajok mozgásában bekövetkező változások főként a nyílt vizeken, melyekre nincsenek meghatározott halászati kvóták, növelhetik egy esetleges katonai akció bekövetkezésének lehetőségét.

A nyomás azonban, hogy a tengeri erőforrások kiaknázása lehetővé váljon fokozódni fog a jövőben. Ez a tény valószínűsítheti a súrlódások létrejöttét a régió államai és a nemzetközi közösség más tagjai között.

### **A hajózási útvonalak körüli konfliktusok**

Az északi-sarki régióban számos lappangó ellentét közül az egyik talán legjelentősebbnek mondható, a jogi helyzet tisztázatlansága miatt a fő tengeri közlekedési útvonalak kérdése. A megnyílt Északnyugati Átjáró, valamint az Északi-tenger fő útvonal használatához olyan ellentétek kapcsolódnak, mint külső határok védelme, a belvizek, a szorosok használata és a parti vizeken a békés áthaladás joga. [8] Az Északi-Sark Tanács 2009-ben kiadott jelentésében értékelte a területen

---

<sup>11</sup> Lásd: Nagy - Britannia és Izland között, Norvégia és Izland között, a Svalbard Halászati Zóna körüli viták

áthaladó hajók úti céljait és megállapította, hogy kiterjedt hajóforgalom van a Norvégia nyugati partjai és Barents-tengeren. Emellett jelentős hajóforgalmat regisztráltak Izland, a Feröer-szigetek és Grönland parti vizein és a Bering-tengeren. A forgalom nagy része a halász flották, kereskedelmi hajók és kompoknak köszönhető. A jelentés azt is kimutatta, hogy a tengeri jég csökkenése ellenére még mindig alacsony az itteni tengeri hajóforgalom más jobb éghajlatú hajózási útvonalakhoz képest. Az északi-tengeri hajózási útvonal megnyílása csökkenti a hajózási napok számát olyan jelentős kikötők, mint Hamburg és Hong Kong között. Természetesen az útvonal felértékelődése és használatának rendszeressé válása új jogi és biztonsági aggályokat vet fel. Többek között ilyen lehet az egyes államok szabályozási hatásköreinek csökkenése.

Mint, ahogy a bevezetőben is jeleztem a skandináv államok szempontjait veszem figyelembe, ennek a tanulmánynak a megírásakor. Az előbbi részben leírtak jól példázzák a régió sajátos helyzetét és azt, hogy az északi államok helyzete biztonság- és védelempolitikai szempontból milyen összetett. A régió skandináv államai hangsúlyozzák az együttműködés szükségességét nemcsak egymással, hanem a régió többi országával is. Izland, Norvégia, Dánia, Svédország és Finnország, valamint a hozzájuk tartozó autonóm területek számára az Északi-Sark Tanács a politikai egyeztető fórum az Arktisz kérdésében. Az északi államok mindegyike rendelkezik az Északi-Sark Tanács által elfogadott Arktisz stratégiával. Természetesen, mint ahogy már korábban is utaltam rá, a skandináv államok nem képviselnek egységes álláspontot. A stratégiaileg meghatározó helyzetben levő Norvégia és Dánia lényegesen magasabb prioritást ad a térségnek külpolitikailag, mint Finnország és Svédország vagy Izland. Norvégia által megfogalmazott célok közül az éghajlat és a környezetvédelme, az őslakos népek megélhetésének biztosítása és a hajózás kérdése közös. Dánia különleges helyzetben van a Feröer-szigetek és Grönland miatt és érdekében áll a hosszú távú regionális fejlesztés előmozdítása a térségben. Izland, bár a jelenlegi meghatározás szerint nem számít parti államnak, szeretné megerősíteni pozícióit az Északi-Sark Tanácsban. Az ország az Európai Uniónak nagyobb beleszólási jogot biztosítana a regionális kérdésekbe. Finnország és Svédország helyzete nagyon hasonlít egymásra, mindkét állam tagja az Európai Uniónak, jelentős őshonos számi lakossággal rendelkeznek, és nem számítanak parti államnak. Finnország képviseli elsősorban az Arktisszal kapcsolatos kérdéseket az Európai Unióban, míg Svédország számára inkább az északi államok közötti regionális kapcsolatrendszer áll az első helyen. Bár, azt Svédország is elismeri, hogy az Arktisz jövője meghatározza a svéd biztonság- és védelempolitika lehetőségeit.

## NORVÉGIA

Norvégia régóta szereplője az északi biztonsági képletnek. NATO-tagállami státusza és egyben Oroszország közelsége miatt. Az ország biztonság- és védelempolitikai dokumentumainak közép-pontjában az ország területének védelem, szuverenitásának fenntartása, a háborúk megelőzése és a jogállamiság áll. Azonban az utóbbi évtizedben a biztonsági fenyegetések nem a szuverenitás fenntartásával, hanem az ország tengeri erőforrásainak megőrzésével az éghajlatváltozás hatásai-  
val kapcsolatosan jelentkeznek. A norvég kormány stratégiai dokumentumokat fogadott el az Északi-Sarkról [9], valamint a norvég fegyveres erőkről.[10] Felmerül a kérdés: miért is kellett a két stratégiának közel azonos időben megszületni. A válasz, az Arktisz és Norvégia tengeri területeinek védelmében, valamint a Svalbard-szigetek különleges helyzete miatt átfogó kormányzati

koncepcióra van szükség, amely mind a polgári, mind a katonai kihívásokat képes kezelni. Miközben Oroszország tagja az Északi-Sark Tanácsnak Norvégiával sajátos szomszédsági kapcsolatokat ápol. A norvég kormány által elfogadott Északi-Sark Stratégia kimondja, hogy Oroszországgal fejleszteni kell a kétoldalú kapcsolatokat, javítani kell a régióban élő lakosság egészségügyi ellátását, oktatását. Ezeken a célokon kívül prioritásként kezeli az éghajlatváltozás és a környezetvédelem, a tengeri erőforrások védelmét. A kiemelt feladatok végrehajtásának elősegítésére a kormány 1,2 milliárd norvég koronát különített el. Természetesen az előbbi célok, főként a tengeri területek védelme nem valósítható meg a Védelmi Erő átalakítása nélkül. A fegyveres erő stratégiája megállapítja, hogy képesnek kell lennie az ország tengeri területeinek, és az ott található energia ipari létesítmények védelmére, valamint biztosítani kell a hajózás szabadságát is. A dokumentum azt is kimondja, hogy szükséges az együttműködés a többi skandináv állammal, ugyanakkor az ország számára a kollektív biztonsági rendszerben tartják megvalósíthatónak a fenti célokat. Mivel Norvégia nem tagja az Európai Uniónak, így az EU által létrehozott Északi Harccsoportban való részvételét nem tekinti a biztonsága szempontjából védelmi garanciának. A norvég fegyveres erő átalakítása és fejlesztése a tengeri határok védelme szempontjából rendkívül fontos. Ezért az északi országrészben található parancsnokságot Bødoba helyezték. A védelmi szervezet átalakításának legnagyobb nyertese „Home Guard” vagyis egy 45 000 fős Nemzeti Gárda típusú egység, amely hozzájárul a reguláris erők műveleteihez, főként tengeri határok ellenőrzése, és különböző rendőri feladatok ellátása révén. Az átalakítás másik nyertese a haditengerészet felügyelete alatt működő Parti Őrség, amely a kizárólagos gazdasági övezetben a járőr és rendőri feladatokat lát el. A Norvég Királyi Haditengerészet jövőbeni fejlesztési tervei igazodnak, ahhoz a lehetőséghez, hogy a part menti államok 300 tengeri mérföldre terjeszthetik ki gazdasági övezetük határát. Ez a haditengerészeti tervezők szerint szükségessé teszi, olyan korszerű hajók beszerzését, amelyek képesek 30 napig ellátni fegyverrel, lőszerrel és egyéb készletekkel a csapatokat. Norvégia tehát felkészült az új stratégiai helyzet kezelésére. Ahogy korábban említettem, mind a Stoltenberg jelentés, mind az északi országok kül-és biztonságpolitikai együttműködése elsősorban Norvégia Arktisszal kapcsolatos érdekeit tartja szem előtt. Ugyanakkor elmondható, hogy az ország katonai kiadásai a válság hatására sem csökkentek, sőt ha csak kis mértékben is nőttek, de általában lépést tartottak az infláció növekedésének mértékével.

## DÁNIA

Dánia szintén különleges helyzetbe van a Feröer-szigetek és Grönland okán a térségben. A két autonóm területet Dánia delegáltja képviseli az Északi-Sark Tanácsban. A dán arktiszi stratégia prioritásai között szerepel az északi-sarki régióban a fenntartható gazdasági fejlődés biztosítása, a szennyezés megelőzése, a sarkvidéki vizeken keresztül történő biztonságos hajózás biztosítása, az éghajlatváltozás káros hatásainak csökkentése, az őshonos népek védelme és a kutató mentő feladatok ellátása és fejlesztése.[11] Az ország ugyanakkor érzékenyen reagál a nemzetközi és regionális biztonsági környezetváltozásaira. A dán védelempolitika jelenleg egy parlamenti pártok által elfogadott, konszenzusos megegyezés célkitűzéseit tartalmazza és ennek a koncepciónak van alárendelve a fegyveres erő átalakítása is. A dán északi stratégia kimondja, hogy a régió geostratégiai felértékelődéséből következően egyre több kihívás hárul a fegyveres erőre. Az egyik ilyen kihívás a megnyíló hajózási útvonalak biztosítása, míg a másik Grönland védelme, hiszen jelentős a távolság a szárazföldi Dánia és a sziget között. A dán fegyveres erők a korábbi Grönlandon és Ferö-

er-szigeteken települő parancsnokságokat egy új Arktisz Parancsnokság alá vonták össze. Ez annak is köszönhető, hogy szükséges a régió helyzetének ártértékelődéséből származó kihívásokra gyors és korszerű válaszokat adni, ráadásul a halászati területek védelme érdekében a különleges éghajlati viszonyok közötti feladatok ellátásához szükséges a jégtörő kapacitás fejlesztése. Ugyanúgy, mint norvég megfelelője a Dán Királyi Haditengerészet is átalakuláson megy keresztül, hogy az új biztonsági kihívásoknak képes legyen megfelelni.

## IZLAND

Izland helyzete a legsajátosabb az északi államok közül. Mint, ahogy a Stoltenberg jelentésből kiemeltém az ország légtérének a védelmét külföldi légierők látják el. Mivel az Egyesült Államok Keflavík bázisról visszavonta a légi erejét, de a szerződés értelmében még ellátja a feladatot nemzetközi erők bevonásával. Az ország hagyományos biztonsági kihívásokkal szembeni védelmét az Izlandi Parti Őrség látja el. Az Északi-Sark Tanácsban az ország elsősorban a gazdag halászterületek és a megnyíló hajózási útvonalak kérdésében foglal álláspontot.[12]

## SVÉDORSZÁG

Svédország kül- és védelempolitikai dokumentumai nem térnek ki részletesen az Arktisz kérdésre, ugyanakkor rendelkezik az Északi-Sark Tanács által elfogadott stratégiával. A kormány által kidolgozott stratégia célja, hogy meghatározza az Arktisszal kapcsolatos svéd prioritásokat. Az elérendő célok három főbb területre vannak hatással, az éghajlat és környezetvédelem, a gazdasági dimenzió és az emberi tényező.[13] A dokumentum bemutatja azokat az új kihívásokat, amelyek kiindulópontot jelentenek a regionális és a kétoldalú kapcsolatok fejlesztésében. A stratégia megállapítja, hogy az Arktiszon bekövetkező éghajlatváltozás hatására új lehetőségek is megnyílnak a hajózás, halászat, a vadászat, a kereskedelem, az energia szektor és a hatékony infrastruktúra fejlesztése és használata terén. Az ország számára a skandináv és európai együttműködés rendkívül fontos. Ennek eredményeként ki kell használni a térségben működő regionális szervezetekből származó szinergiákat. A stratégia második része megfogalmazza, hogy a szénhidrogének kitermelése a régióban környezetbarát módon történjen. A tengeri szállításban és a különböző ágazatokban be kell vezetni a svéd technológiai ismereteket és bővíteni kell régióban a kereskedelmi kapcsolatokat. Az ország elismeri és védelmet biztosít az őshonos népek számára kultúrájuk fenntartására és az identitásuk fejlesztésére. A fegyveres erők egy átalakuláson ment keresztül, amely alapján a szerződéses és hivatásos személyzet arányát megváltoztatták. A bevethetőség tekintetében nincs különbség hazai vagy a nemzetközi telepítést illetően. Nincs tervben nagyobb haditengerészeti beruházás. A légierő továbbra is hangsúlyt fektet a felkészülésre az ország északi részén. A légierő rendelkezik korszerű korai légi előrejelző rendszerrel, amely képes hozzájárulni az északi biztonsághoz.

## FINNORSZÁG

Az ország a hidegháború végén új alapokra helyezte kapcsolatait a nemzetközi szervezetekkel és tovább fejlesztette kapcsolatait a szomszédos skandináv államokkal. A 2009-ben kiadott

biztonság- és védelempolitikai dokumentum már megjeleníti az Arktisz kérdését.[14] Finnországnak nincsen kijárata az északi vizekre, azonban a jelenlegi külpolitika már határozott célokat fogalmaz meg a tengeri szállítási útvonalak használata és a természeti erőforrások kiaknázása kérdésében. Az ország rendelkezik az Északi-Sark Tanács által elfogadott stratégiával. A dokumentum[15] kimondja, hogy Finnország sarkvidéki ország és természetes érdekei fűződnek a régióban bekövetkező változások hatásainak kezelésére. A stratégia fő problémaként jeleníti meg az ország sarkvidéki területein törekeny környezetet hangsúlyozva, hogy a bekövetkező környezeti változások hátrányosan érintik az ott élő őslakosokat, akiknek jogait az alkotmány is rögzíti. Lehetőségként jelöli meg a dokumentum az Arktiszt, mint jelentős gazdasági potenciállal rendelkező térséget, ahol a tengeri szállítás és a természeti erőforrások kiaknázása lehetőséget teremt a finn szakértelem felhasználására, további kulcsfontosságú tényezőként jelöli meg a közlekedés javítását, a kommunikáció és a logisztikai kapcsolatok fejlesztését és a határátlépés lehetőségének megkönnyítését. A finn sarkvidéki politika kihasználja az összes olyan együttműködési struktúrát, amely a regionális politika fejlődését elősegíti. Finnország együttműködik az Európai Unióval az északi, regionális politika fejlesztésében. A 2009-ben kiadott biztonság- és védelempolitikai dokumentum átfogó módon mutatja be az ország előtt álló biztonsági kihívásokat. Az ország szuverenitásának fenntartása a független katonai védelemre épül, attól függetlenül, hogy együttműködik a NATO-val. Finnország számára kiemelkedően fontos az Európai Unió biztonság- és védelempolitikájában való részvétel. Úgy gondolja, hogy az Arktisz biztonságával kapcsolatos kérdéseket leginkább itt és az Északi-Sark Tanácsban tudja képviselni. A Finn Védelmi Erő fejlesztésének fő prioritása a légierő korszerűsítése és NATO kompatibilissé tétele. A jelenleg a légierőnél megtalálhatók az orosz típusú haditechnikai eszközök éppúgy, mint a nyugatiak. A haditengerészet korszerűsítése egyelőre nincs napirenden.

## ÖSSZEGZÉS

A tanulmányban terjedelmi okok miatt csak egy-két szubjektív kiemelés segítségével a skandináv államok szempontjából mutattam be az éghajlatváltozás hatásait az Északi-Sark régió biztonságára. Kiemeltem a Stoltenberg jelentésből azokat a pontokat, amelyek a stratégiai gondolkodását az északi államoknak meghatározzák. Ugyanakkor a régió nagy országairól csak annyiban ejtettem szót, hogy az összefüggések láthatóak legyenek. A régió katonai szempontból történő áttekintése a legfőbb stratégiai gócpontokat tartalmazza, röviden utalva a lappangó problémákra. Az északi államok egyedi bemutatásánál csak röviden vázaltszerűen utaltam azokra a főbb szempontokra, amelyek az Északi-Sark Tanács által elfogadott stratégiai dokumentumokban kiemelten szerepelnek. Természetesen más kiemeléseket is lehet tenni, hiszen az Arktisz régiójának számos jelen kutatással összefüggő vetülete van. A globális felmelegedés hatására bekövetkező éghajlatváltozás hatásait a klímakutatók csak becsülni tudják, azonban az adatok így is riasztó képet festenek. A jelenleg érvényben levő Arktisszal összefüggő stratégiák előnybe helyezik a környezetvédelmi szempontokat és együttműködésen alapuló megoldásokat keresnek a régió gondjaira. Ezért nem várható, hogy ebben az évtizedben a felmerülő problémákra az érintett felek katonai megoldásokat keresnek.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Stoltenberg Jelentés: <http://www.regjeringen.no/upload/UD/Vedlegg/nordiskrapport.pdf> (2010.05.20.)
- [2] ENSZ Tengerjogi Konvenció: [http://www.un.org/Depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/unclos\\_e.pdf](http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf) (2011-10-02)
- [3] Salmela L.: The Arctic from Military Viewpoint – A summary of Jacob Børrensen’s presentation at the Suomenlinna Seminar in Salmela (ed.): The Thirteenth Suomenlinna Seminar [http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/22d11300462860ce9e58fe0e17b6f8b5/StratL2\\_46w.pdf?MOD=AJPERES](http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/22d11300462860ce9e58fe0e17b6f8b5/StratL2_46w.pdf?MOD=AJPERES) (2010-08-04)
- [4] Kálló L.-Deák A.: Az Északi – Sark – A versenyfutás kezdete Felderítő Szemle, X. évfolyam 1-2. szám 43-64. oldal
- [5] Svalbard Egyezmény: <http://www.jus.uio.no/english/services/library/treaties/01/1-11/svalbard-treaty.xml> (2012-01-02)
- [6] Átland K.: Security Implications of Climate Change in the Arctic <http://rapporter.ffi.no/rapporter/2010/01097.pdf> (2011-10-02 15:37)
- [7] Északi – Sark Tanács: Arctic Marine Shipping Assessment 2009 Report, [http://pame.arcticportal.org/images/stories/PDF\\_Files/AMSA\\_2009\\_Report\\_2nd\\_print.pdf](http://pame.arcticportal.org/images/stories/PDF_Files/AMSA_2009_Report_2nd_print.pdf) (2011-10-02 15:40)
- [8] KOLLER József-LÉVAY Gábor-KOHUT László-PADÁNYI József: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására. Stratégiai és Védelmi Kutatóintézet Budapest, Védelmi Tanulmányok 63. (2010). pp. 30.
- [9] Norwegian Ministry of Foreign Affairs: The Norwegian Government’s High North Strategy. Oslo: Ministry of Foreign Affairs 2006, <http://www.regjeringen.no/upload/UD/Vedlegg/strategien.pdf> (2011-10-22 10:50)
- [10] Norwegian Ministry of Defence: Capable Force: Strategic Concept for the Norwegian Armed Forces. Oslo: Ministry of Defence 2009, [http://www.regjeringen.no/upload/FD/Dokumenter/Capable-force\\_strategic-concept.pdf](http://www.regjeringen.no/upload/FD/Dokumenter/Capable-force_strategic-concept.pdf) (2011-10-22 9:42)
- [11] Danish Government Report: Kingdom of Denmark strategy for the Arctic 2011-2020. Copenhagen, 2011, [http://www.ambwarszawa.um.dk/NR/rdonlyres/BA694C18-97B0-49C8-A36B-1C6F193D73AF/0/100295\\_Arktis\\_Rapport\\_UK\\_210x270\\_Final\\_Web.pdf](http://www.ambwarszawa.um.dk/NR/rdonlyres/BA694C18-97B0-49C8-A36B-1C6F193D73AF/0/100295_Arktis_Rapport_UK_210x270_Final_Web.pdf) (2012-01-05)
- [12] A Parliamentary Resolution on Iceland’s Arctic Policy [http://www.pdfdownload.org/pdf2html/view\\_online.php?url=http%3A%2F%2Fwww%2Earctic%2Dcouncil%2Eorg%2Findex%2Ephp%2Fen%2Fabout%2Fdocuments%2Fcategory%2F12%2DArctic%2Dstrategies%3Fdownload%3D127%3Aiceland%2DArctic%2Dpolicy&images=no](http://www.pdfdownload.org/pdf2html/view_online.php?url=http%3A%2F%2Fwww%2Earctic%2Dcouncil%2Eorg%2Findex%2Ephp%2Fen%2Fabout%2Fdocuments%2Fcategory%2F12%2DArctic%2Dstrategies%3Fdownload%3D127%3Aiceland%2DArctic%2Dpolicy&images=no) (2011-12-23)
- [13] Swedish Ministry of Foreign Affairs: Sweden’s Strategy for the Arctic region. Stockholm: Ministry of Foreign Affairs 2011 <http://www.sweden.gov.se/content/1/c6/18/61/74/9168f21a.pdf> (2011-12-29)
- [14] Prime Minister’s Office: Finnish Security and Defence policy 2009. Helsinki, Prime Minister’s Publication 13/2009 <http://www.vnk.fi/julkaisukansio/2009/j11-turvallisuus-j12-sakerhets-j13-finnish/pdf/en.pdf> letöltési idő: (2010-06-01)
- [15] Prime Minister’s Office: Finland’s strategy for the Arctic region Helsinki, Prime Minister’s Publication, 8/2010 <http://formin.finland.fi/public/download.aspx?ID=63216&GUID={C92863F7-1188-4975-9CC8-34EA16C26D07}> (2011-03-02)



Schmidt Petra<sup>1</sup>

## A LEVEGŐ, A CSAPADÉK, VALAMINT A TALAJ VÁLTOZÁSAINAK HATÁSA A BIZTONSÁGRA<sup>2</sup>

### **Rezümé**

*Az éghajlatváltozás ütemgyorsulásának köszönhetően, bizonyítottan drasztikus változások küszöbén állunk, mely hatások ma már emberi léptékben is mérhetők, érzékelhetők. Hazánkban rövid idő alatt olyan változások mentek végbe az időjárás extremitásának köszönhetően, melyek alapvetően változtathatják meg az életkörülményeinket, létfenntartási szükségleteinket. Hiszen a klímaváltozás hat az édesvízkészletekre, a kihulló csapadékmennyiségre, annak időbeli és területi eloszlására, a hazai az ár-belvíz, ezzel együtt az aszály jelenségének kialakulására is. Megváltoztatja a talaj szerkezetét, annak minőségét, vízelvezető valamint termőképességét, átalakítva a mezőgazdaságot. Vajon fel van készülve Magyarország e biztonsági kihívások kezelésére?*

### **THE IMPACT OF THE CHANGES OF ATMOSPHERE, PRECIPITATION AS WELL AS SOIL TO THE SECURITY**

*Due to the rate-acceleration of climate change, it has proven we are on the eve of drastic changes, which effects can now be measured also in human scale. In our country in a short time such changes have occurred due to the extreme weather, which could basically change our living conditions and existence needs. Because of climate change has an effect on freshwater resources, on falling precipitation, on its temporal and regional distribution, on the national flood and drainage, along with the emergence of the phenomenon of drought as well. It will change the soil structure, quality, drainage and fertility, transforming the agriculture. Is Hungary prepared to tackle these security challenges?*

### **BEVEZETÉS**

Talán nincs is a világon jelenleg a klímaváltozás tényénél jobban körüljárt környezetpolitikai kérdéskör. Kutatók ezreit foglalkoztatják, akik szinte ontják magukból a tudományosan meg-alapozott vagy esetenként kevésbé tudományos igényű publikációkat.

A klímaváltozás fogalma ún. divat témává alakult át az utóbbi évtizedekben, azonban e téma közkeletisége koránt sem véletlen. Az éghajlatváltozás meghatározó eleme, irányelve a nemzetgazdaságok működésének (is) hiszen károsanyag-kibocsátásunk révén gerjesztett ütemgyorsulása emberi léptékkel észlelhető és érzékelhető társadalmi, gazdasági változásokat, irgalmatlan sokszor kivédhetetlen természeti csapásokat eredményez már ma is.

Különböző klímamodellek scenáriói alapján állítható, bizonyítottan drasztikus változások küszöbén állunk, mely hatások minden eddiginél extrémebb időjárást és fokozatosan gyara-podó természeti katasztrófákat eredményeznek.

Hazánkban, rövid idő alatt, máris olyan változások mentek végbe, melyek alapvetően változ-

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar hallgatója, schmidt.petra.88@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Padányi József, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

tatják meg az életkörülményeinket, létfenntartási szükségleteinket, szokásainkat. Az éghajlatváltozás hat az édesvízkészletekre, a kihulló csapadékmennyiségre, annak időbeli és területi eloszlására, a hazai az ár-belvíz, ezzel együtt az aszály jelenségének kialakulására is (szélsőséges vízgazdálkodású területeket létrehozva). Átalakítja a talaj szerkezetét, megváltoztatva annak minőségét, vízelvezető valamint termőképességét.

Ma ugyan még „elég” az újszerű vízviisszatartó talajművelés alkalmazása, ám nagyon rövid időn belül elkerülhetetlenné válhat a szárazságtűrő növények nemesítése, és termesztésükre való átállás. *(Hazánk néhány év-évtized múlva a mai Olaszország jelenlegi éghajlati adottságával „büszkélkedhet”)*

Természetesen a hazai élelmiszer import, export is jelentős változásokon megy majd keresztül a szállított és igényelt áruk tekintetében.

Ha harcolni kívánunk ezen hatások ellen, mérséklést, ütemlassítást, valamint következményredukciót szeretnénk, abban az esetben kizárólag a globális összefogás segíthet, csak hogy ez koránt sem ilyen egyszerű. USA, Kína, eleve fenntartásokkal fogadja ezen megállapodásokat, (lásd. Kiotói jegyzőkönyv), Kanada pedig néhány állam kíséretében egyszerűen kilép belőlük.

Nagy gond, hogy minél tovább tolódik egy, a világ összes államát magába foglaló, nemzetközi, éghajlatváltozás következménycsökkentő, ütemgyorsulást lassító, kibocsátás-csökkentést előíró paktum létrehozása, annál nagyobb horderejű, nemzetgazdaságokat súlyosan érintő döntésre kényszerülünk a későbbiekben.

Véleményem szerint azon államok, melyek ma még élesen elhatárolódnak a gazdasági teljesítményük rovására való kötelező érvényű és célszámú emisszió-csökkentés alól, később stratégiai célponttá válhatnak a csökkenteni kívánó nemzetek akarat-érvényesítésével szemben, Fokozódhat a biztonságpolitikai feszültség. Szélsőséges esetben a későbbiekben felmerülhet akár a nemzeti emisszió-csökkentés (katonai erővel való) kikényszerítésének lehetősége is.

Hiszen néhány ország esetében már most veszélybe kerültek a létfenntartási szükségletek. Gondoljunk csak a szinte null-kibocsátással rendelkező Közép-Afrikai országokra, ahol a víz eszmei ára lassan drágább az aranyénál, mégis csökkentenek, ám pl. az USA kibocsátását ugyanúgy megszenvedik.

Véleményem szerint e globális változás önmagában hordozza a rendkívüli biztonsági kockázatot, mind nemzeti, mind nemzetközi szinten, hiszen például a víz, mint stratégiai hiánycikk, nem csak szárazságot, de egyben éhínséget is jelenthet (még akár Magyarországra nézve is).

## KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS AZ ANTROPOGÉN ÜTEMGYORSÍTÁS

Az utóbbi évek időjárási anomáliáit látván, sokan azt gondolják, világméretű katasztrófa küszöbén állunk és sokat nem is tévednek. Ám tudni kell, hogy az éghajlati viszonyok sosem voltak állandóak és gyakorta megváltoztak a földtörténet során.

Mindazonáltal, ma már bizonyított, hogy a hirtelen jött szélsőségek elsősorban a klímaváltozás rendkívül felgyorsult ütemének, valamint az ezzel járó következményeknek tudhatóak be.

A klímaváltozás éppen ezért is lehet ún. álfogalom, hiszen amióta létezik a Föld, éghajlata fo-



lyamatosan változik, klímaváltozás tehát van, volt és a jövőben is lesz. Azonban ez mára már nem csak természeti, hanem azzal együtt társadalmi jelenség is egyben, melyben az antropogén, azaz emberi hatás egyre jelentősebb, exponenciális mértékben növekvő, ütemgyorsító tényező.

Mint korábban említettem, ez a változás a Föld életében nem ismeretlen jelenség. Ciklikusan ismételte/ismétli önmagát.

Különböző tudományos kutatási eredmények azt bizonyítják, hogy az elmúlt 400 000 évben szabályszerű ciklusok voltak a klímaváltozás történetében. Két ciklus csúcs között körülbelül 80 000 év telt el. E ciklusok folyamatosan, szabályszerűen ismételték egymást. Ebből a bizonyos 80 000 évből kb.30 ezer év a lassú lehűlés időszaka volt, ezt követte a megközelítőleg 20 000 éves úgynevezett jégkorszak és végül egy kb. 30 ezer éves lassú hőmérsékletemelkedés, azaz felmelegedés indult meg.

Felmerül a kérdés, vajon hol tart a világ jelenleg ebben a bizonyos éghajlatváltozásban? Mely szakaszban lehetünk most?

A kutatók azt valószínűsítik, hogy jelenleg az úgynevezett melegedési szakaszban vagyunk, (a jégkorszak után eltelt kb. 18-20 ezer év), melyből maradt kb. 10-12 ezer évünk a lassú felmelegedésre. Utána ismét újra fordul ez a folyamat, következik az újabb lehűlés.

A kérdés a következő. Vajon mennyire sikerült/sikerül még az úgynevezett antropogén-emberi tényezőnek ezt a folyamatot felgyorsítani? Vajon mennyivel rövidült, rövidül ez a hátralévő 10-12 000 év?

A klímaváltozás üteme fokozatosan gyorsul, természetesen ezen gyorsulásnak is, mint minden folyamatnak oka van.

Az elsődleges ok az üvegházhatású gázok dúsulása a légkörben (melyért a leginkább a széndioxid kibocsátás a felelős). Ennek okozataként jelentős felmelegedés indul meg, melynek következményei a szélsőséges meteorológiai, hidrometeorológiai események gyarapodása, valamint azok intenzitása.

Az emberiség az ipari forradalom óta (150-200 éve) hatalmas mennyiségben éget el fosszilis energiahordozókat (szén, kőolaj), és ezzel üvegházhatású gázokat, főként szén-dioxidot juttat a levegőbe. Az utóbbi száz évben a globális átlaghőmérséklet már 0,74 Celsius fokkal megemelkedett, és ha a jelenlegi ütemben folytatódik a felmelegedés, akkor a század végéig várhatóan 2-3 fokkal lesz magasabb a globális átlaghőmérséklet.

Azonban ha csupán 1,5 °C-kal megemelkedik a globális átlaghőmérséklet, már akkor is visszafordíthatatlan folyamatokkal kell számolni, de 2 °C-nál jelentősebb emelkedés egész biztosan éghajlati katasztrófához vezet. Az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Bizottságának (IPCC) 2007-es jelentése szerint még akkor is egytized fokkal nőne évtizedenként a hőmérséklet, ha az üvegházhatású gázok kibocsátásának mértéke megállt volna a 2000. év szintjén. [1]

Kutatók az Antarktisz jégtömbjeiből vettek furatmintákat, azokban helyenként levegő buborékok találhatóak, melyekből egy úgynevezett kémiai analízis segítségével megállapítható, hogy a furatban található jég keletkezésének idején mekkora volt a Földön a széndioxid tartalom, valamint a hőmérséklet.

Az eredményekből kiderült, hogy az elmúlt 400 000 évben a levegő szén-dioxid tartalma sohasem haladta meg a 280 ppm<sup>3</sup>-et, azonban, mint ismeretes a mai eredmények azt mutatják, hogy jelenleg a levegő szén-dioxid tartalma már a 380ppm feletti, 2011-ben átlagosan 391 ppm. [2]

Ebből is látható, hogy a széndioxid csökkentés mára már nem csak egy lehetőség, hanem egy szükségszerű tevékenység.

Hiszen ha nincs utánpótlás, ha ma megszüntetnénk minden kibocsátó forrást, a szén-dioxid molekula még akkor is minimum 45-50 évig benne marad a légkörben.

*(Prof. Dr. Láng István előadás anyagából dolgozva Klíma és Biztonság Konferencia I. 2009)*

A tudományos kutatások mind azt mutatják, hogy a klímaváltozás drasztikus hatásainak elkerülése érdekében 2015-ig tetőznie kell a teljes széndioxid-kibocsátásnak, hiszen csak így tudjuk a globális átlaghőmérséklet emelkedést 2 °C alatt tartani. Amennyiben a Föld átlaghőmérséklet-növekedése meghaladja a 2 °C-t, a folyamatok visszafordíthatatlanná válnak.

## ÁLLAMÉRDEKEK ÜTKÖZÉSE, BENNE MAGYARORSZÁG

Korábban több nemzetközi paktum született már az emisszió-csökkentés jegyében, azonban az első igazi globális kezdeményezés a Rio de Janeiroban 1992-ben megkötött Éghajlatváltozási Keretegyezmény, ahol tulajdonképpen eredményekről még nem beszélhetünk, azonban a benne részt vevő államok csökkentési szándékukat kinyilatkoztatva előre vetítették egy kötelező érvényű csökkentési célokat megfogalmazó dokumentum létrehozását.

Így kerülhetett végül sor az évekig húzódó tárgyalássorozat eredményeképp létrejövő 1997-es Kiotói Jegyzőkönyv megszületésére. E jegyzőkönyvben a fejlett országok döntő többsége elkötelezte magát arra nézve, hogy 2010-ig átlagosan 6-8%-kal csökkenti a hat legfontosabb ÜHG kibocsátását 1990-hez képest.

Mivel az egyezményt a legjelentősebb kibocsátó országok közül az USA nem ratifikálta, Kína sajátos feltételrendszert szabott, Kanada időközben kilépett, így az 1997-es adatokat figyelembe véve a jegyzőkönyvben szerepet vállaló országok csupán a teljes kibocsátás kb. 30%-áért voltak felelősek. [3]

Ahhoz, hogy valóban elkerülhessük a 2 °C-os átlaghőmérséklet emelkedést, minden eddiginél drasztikusabb, azonnali és globális beavatkozásra volna szükség. Olyan mindenkire kötelező érvényű szabályozásra, ahol 2050-ig kb. 60-80%-os csökkenés érhető el.

Ez azonban jelenleg kivitelezhetetlen, nemcsak a nemzetgazdaságok számára elfogadhatatlanul magas célszámok miatt, hanem mert a legjelentősebb kibocsátók, akik a CO<sub>2</sub> légkörbe juttatásának 60-65%-áért felelősek, nem hajlandóak ebben a többi résztvevő által elfogadható mértékben részt venni.

Az ütemgyorsulás következményei viszont mindaddig megállíthatatlanul, egyre növekvő intenzitással és gyakorisággal következnek be. Abban minden tudós egyetért, hogy előbb vagy utóbb, de muszáj megállapodásra jutni.

---

<sup>3</sup>ppm (parts per million,- milliomod rész)

Ha a hatások már-már elviselhetetlenségi szintet érnek el, vagy olyan mértékben fenyegetik a létfenntartást, hogy az már a nemzetek fennállását, a polgárok életben maradását veszélyezteti, ám a megoldásként szolgáló nagy kibocsátók továbbra sem redukálják légszennyezési mutatóikat, sajnos nem elképzelhetetlen a teljesítő, szenvedő államok kényszerű összefogása annak érdekében, hogy közös erővel, eleinte társadalmi nyomást alkalmazva, később esetleg katonai erőt bevetve kényszerítsék ki a túléléshez nélkülözhetetlen CO<sub>2</sub>redukciót. *(Néhány nem hivatalos forrás szerint ez a lehetőség néhány évtizeden belül bekövetkezhet.)*

## Hazai vonatkozás

Mint hogy az Unió nélkülözhetetlen eleme a globális klímapolitika alakulásának, konferenciák kimenetelének, valamint, mivel az Unió álláspontja, a tagállamainak hozzáállását is tükrözi egyben, így velünk együtt nem egy, hanem 27 állam lép fel együttesen a közös cél elérése érdekében. Az Unió sikere, a benne helyet foglaló tagállamok sikere is egyben, így természetesen Magyarországé is.

Hazánk szintén kiemelkedik klímapolitikai törekvései tekintetében, hiszen korábbi klímatorvény tervezetében foglalt kibocsátás-csökkentési vállalásokra, eddig kizárólag Angliában volt példa. Magyarország figyelemreméltó és aktív harcot folytat az éghajlatváltozás ütemgyorsulása és következményei ellen. Kutatóink külföldi konferenciák állandó vendégei, nem véletlenül.

E tekintetben viszont az Uniós tagságunk kétélű fegyver.

1. Kijelenthetjük, hogy Magyarország, az éghajlatváltozás elleni harc egyik élharcosa, (melyet mi sem bizonyít jobban, mint az ehhez hasonló projektek megszületése) azáltal biztonságpolitikai szempontból e területen nemcsak védett, de támogatott.
2. Azonban ha a későbbiekben valóban sor kerül egy nemzeti emisszió-csökkentést előirányzó, minden államra kötelező érvényű szabályozás lefektetésére, katonai erővel való kikényszerítésére, betartatására (globális összefogás akár USA, Kína ellen), abban az esetben az Unió döntése, egyben hazánk döntése is, így mi is szembekerülhetünk a nagyhatalmakkal.

Természetesen mindez csak feltételezés, ám nem állíthatjuk teljes bizonyossággal, hogy ma, amikor a világ egyes területein a vízért, vizes területekért országokon belüli, országhatárokon átívelő harcok folynak, akkor a későbbiekben nem kerül sor, ennél drasztikusabb túlélési, létfenntartási harcokra.

*(Korábban többször olvashattuk, hogy a 3. világháború esetleges kitörésének okát a vízben, mint stratégiai kincsben kereshetjük majd. Az érdekesség, hogy az akkori cikk írója még nem a globális éghajlatváltozás következményeinek szellemében hozta létre művét. Vajon ma hogy vélekedne?)*

## HAZAI ÉGHAJLATI SZCENÁRIÓK

Magyarország éghajlatát az óceáni, mediterrán és kontinentális klíma együttesen határozza meg, ezek a Kárpát-medence domborzati hatásaival együtt igencsak változékony éghajlatot eredményeznek, ezért már a kismértékű zónák eltolódásában testet öltő éghajlatváltozás is a globálist meghaladó mértékű hatást eredményezne.

Hazánk területi adottságai, állapota, társadalmi megoszlása ennek következtében igen differenciált. Következésképpen a magyarországi régiók, kistérségek, vagy a természetes nagy-és középtájak, valamint az egyes termőhelyek, de az azokon termelt növények klímaváltozásra való érzékenysége, sérülékenysége, így ezzel együtt annak kockázati tényezője is eltérő.

A 2010/11-es évet hazánkban a természeti csapások: az özvívízszerű esőzések, szélviharok, jégverések, súlyos árvizek, belvizek, majd a követő aszályjelenségek, egyszóval a szélsőségek éveként tartják számon.

A napjainkban tapasztalható felmelegedés hatására, az éghajlati rendszerünk elemei közötti kölcsönhatások jelentősen megváltozhatnak. Egyes folyamatok gyengülhetnek, míg mások drasztikusan felerősödhetnek.

Az előrejelzések azt sejtetik, hogy 20-30 év múlva, (körülbelül 2030-ra, 40-re) számottevő változások várhatók nem csak a természeti jelenségekben, hanem az évszakok hosszát, lefolyását, valamint fázisát illetően is.

Rövid, valószínűleg igen változékony, hőmérsékletében az átlagosnál kissé melegebb, de nem szárazabb tavaszt, a mai állapotnál lényegesen hosszabb, szélsőségesen magas hőmérsékleti rekordokkal is érkező, alapvetően az átlagosnál nem sokkal melegebb, de csapadékban rendkívül szegény nyár követ.

Az ősz későbbre tolódik és tovább tart, egyben a mai indián nyárra emlékeztethet, hiszen hőmérséklete szintén melegebb lesz a megszokottnál. Egészen nyárias.

Míg a januártól márciusig tartó telet a mai szóhasználattal nagyon enyhének neveznénk, de rendkívül sok csapadékkal érkezik. Ez a sok csapadék, (ami kevés havat, annál több havas esőt, ónos esőt, esőt jelent), azonban nem egyenlíti ki az éves vízmérleget sőt, az első gondot a térben és időben roppant egyenlőtlen elosztás jelenti majd. Itt is megfigyelhetőek lesznek a hirtelen jövő, maximum pár hétig tartó szélsőségesen alacsony (akár a -30 - -35 °C-os) hőmérsékleti anomáliák. És természetesen a sok csapadék miatt nem lesz ritka a hirtelen érkező, hatalmas mennyiségű hólehullás, maximum 2-3 héten belül olvadásnak indul. A gyerekek bánatára fehér karácsonnyal már nem igen találkozhatunk a közeljövőben.

Ennek tekintetében a várható évszakeltolódás a következőképpen alakul:

- tavasz: március közepe-május;
- nyár: június-szeptember;
- ősz: október-december;
- tél: január-március közepe.

Magyarországon várhatóan az északnyugati szelek egyre gyakrabban fordulnak déliesre, ezek pedig a csapadékos óceáni levegő helyett száraz mediterrán, szubtrópusi meleget hoznak, időnként pusztító viharokkal. Gyakran alakulnak ki szupercellák az égen és ennek következtében egyre több és nagyobb felhőtölcsérrel, tornádókkal is találkozhatunk. A Kárpát-medencében, épp e medence jellegből és a többféle éghajlati hatásból adódóan a szélirányok folyamatosan változnak majd.

Hőmérsékletében hosszú távon fokozatos felmelegedés, a nyári csapadék mennyiségének csökkenése várható. *(Az utóbbi 40-50 évben az éves csapadéunk csaknem 12-15%-át elvesztettük.)*

Fokozottan kell számolnunk a hőmérsékleti anomáliákkal. Nyáron a hirtelen és drasztikusan megemelkedő, néhol a 40 °C-ot is hosszán megközelítő vagy meghaladó csúcserkékek (példa: 2011.08.25. Csávoly 39,2 °C), addig télen a hirtelen szélsőségesen lecsökkenő hőmérséklet, -30 °C-os vagy azt meghaladó fagyok (példa: 2012.02.05. Kakucs -25,9 °C) okoznak majd gondot. A problémát csak fokozza, hogy ezen szélsőségek hirtelen érkeznek, ám ugyanilyen gyorsan „tűnnek” majd el.

Rendkívül sok esetben találhatjuk már ma is szembe magunkat olyan helyzetekkel, amikor pár nap alatt csaknem 20-30, esetenként akár 40°C-os hőmérsékletemelkedés vagy csökkenés lesz tapasztalható, mely rendkívül megviseli főleg az idős és beteg emberek szervezetét.

A természeti jelenségek, drasztikusabb esetben katasztrófák mind előfordulásban, mind intenzitásban, mind kiterjedésükben egyre növekvő tendenciát mutatnak majd. Elsősorban a vízzel összefüggő, azaz hidrológiai jelenségekkel kell számolnunk, de a meteorológiai értékekben is érezhető változások következnek be.

A Világbank tanulmánya szerint Magyarországon és Lengyelországban 2050-re annyi lesz a 30 Celsius foknál melegebb napok száma, mint jelenleg Spanyolországban és Szicíliában.

A legnagyobb probléma az, hogy ezeken a napokon az éjszakai hőmérséklet sem megy majd 25-27 fok alá. (A fagyos napok száma azonban előreláthatólag csökkenni fog.)

Az Országos Meteorológiai Szolgálat információi, mérései alapján, 1971 és 2010 között, egészen pontosan 2007 július 20-án mérték hazánk legmagasabb napi maximum hőmérsékletét, mégpedig Kiskunhalason, nem kevesebb, mint 41,9 Celsius fokot.

Természetesen a rendkívüli téli csapadékmennyiség előrevetíti a téli ár, azaz a kora tavaszi árvizek éves valószínűségét, valamint a nyári hónapok aszályos mivoltát, következményként néhol földmozgást, földcsuszamlást eredményezve.

De azon is érdemes elgondolkozni, hogy télen egy esetleges fagyott talaj, hogy lesz képes ilyen hatalmas mennyiségű vizet elvezetni?

## A TALAJ SZEREPE A VÍZGAZDÁLKODÁSBAN

A globális klímaváltozások előrejelzései számos kérdésben lényegesen eltérnek egymástól, azonban a legtöbb éghajlati modell eredményéből világosan leszűrhető, valamint a kutatók is egyetértenek abban, hogy a hőmérséklet emelkedés mellett, ( mint az korábban említve volt) a szélsőséges időjárási helyzetek valószínűsége, gyakorisága, mértéke, intenzitása egyaránt növekedni fog.

Özönvízszerű, vagy hirtelen áradás bárhol bekövetkezhet. A hirtelen jövő, nagy intenzitású esőzés hazánk igen gyakori jelensége, mint ahogy azt az elmúlt év eseményei, különösen (2010. május-június) bizonyítják. Néhány óra alatt, olyan hatalmas mennyiségű víz zúdulhat a földfelszínre, melyet a talaj nem képes abszorbeálni, így az nem szívódik be, hanem a felszínen folyik el.

Akár belvízről, árvízről, akár özönvízszerű esőzésekről beszélünk, az elsődleges mentesítő közeg, mellyel ilyenkor a víz találkozik, az a talaj.

A talaj szerkezetétől, minőségétől nagyban függ az úgynevezett felszívódás mértéke.

A kutatási eredmények azt bizonyítják, hogy a hazai talaj felső egy métere potenciálisan, mintegy 45 km<sup>3</sup> víz befogadására és mintegy 25–35 km<sup>3</sup> víz raktározására képes, miközben hazánk területére hulló (átlagosan 550–600 mm-nyi) évi csapadék mennyisége: 50–55 km<sup>3</sup>.

A talajba raktározott víz 55–60%-a a növény számára nem hozzáférhető úgynevezett „holtvíz”, 40–45%-a „hasznosítható víz”.

Látható tehát, hogy milyen fontos a hazai talajok jó minőségének fenntartása, hiszen hazánk talajainak 43%-a kedvezőtlen, 26%-a közepes és csak 31%-a jó vízgazdálkodású. Ugyan ez az arány kicsi, mégis elmondható, hogy a talaj, hazánk legnagyobb kapacitású természetes víztárolója.

Az ár-belvíz elleni védekezés egy kulcskérdése a talaj víztároló, vízelvezető képessége.

Természetesen felmerül a kérdés, hogy az éghajlatváltozás miként változtathatja meg Magyarországon a belvízviszonyokat, tágabb értelemben a talaj nedvességviszonyait? Erre vonatkozathatóan már az 1990-es években különféle vizsgálatokat végeztek, és többek között arra a következtetésre jutottak, hogy a nyári félévben a talajnedvesség számottevően csökkenni fog. (Mika-Németh-Dunay 1993.) Előtérbe került hát a talajok klímaérzékenységének vizsgálata, mely mutatók a talaj éghajlatváltozásra adott reakcióit vizsgálják, hiszen a szélsőséges, extrém időjárási anomáliák gyakoriságának növekedése a talaj vízmérlegét is szélsőségesebbé teheti, ami jelentős termésingadozásokat okozhat.

## MEZŐGAZDASÁGRA GYAKOROLT HATÁSOK, ÉLELMISZERBIZTONSÁG

A mezőgazdaság hatása a klímaváltozásra egyértelmű, hiszen az agrárágazatból származó káros-anyag kibocsátás világviszonylatban csaknem 13-15%-ot vesz ki, amelynek értéke szinte megegyezik a közlekedés által légkörbe bocsátott gázokkal. Azonban természetesen nem csak az agrárium hat jelentősen az éghajlatra, hanem fordítva is. A klíma változása előírnyozza a mezőgazdaság átalakulását.

Bizonyított, hogy az éghajlat változásának hatására mindenütt átalakulhat a talaj (elsősorban termőtalaj) szerkezete, megváltozhat annak minősége, vízelvezető valamint termőképessége, mely következtében minden nemzet területén várható a mezőgazdaság/ a gazdasági szerkezet átalakulása. Néhol veszélybe kerülhet az élelmiszertermelés, ellátás, ezáltal akár létfenntartás is. Országon belül lázadások törhetnek ki, éhínség is veheti kezdetét.

*Az élelmiszer-biztonságról: Akkor beszélhetünk élelmiszer-biztonságról, hogy ha minden ember, mindenkor rendelkezik fizikai és gazdasági hozzáféréssel biztonságos és tápláló élelmiszerhez, amely megfelel az étrendi szükségleteinek és preferenciáinak egy aktív és egészséges életmód érdekében.”(WFS, 1996).*

Hazánk szerencsére nem tartozik a fokozottan veszélyeztetett élelmiszer-ellátottságú nemzetek közé, ám már 2030-ra nálunk is prognosztizálható egy mezőgazdasági átállás a szárazságtűrő növények termesztésére, a citrusfélék elterjesztésére. Ma is nagy gondot jelent a huzamosabb idejű száraz időszak, a mezőgazdászok nagyon hiányolják az esőt.

Már napjainkban is szükséges a klímakár csökkentő, alkalmazkodó talajművelési technikák alkalmazása. A téli csapadék jobb megőrzése talajműveléssel, mélylazítással javítaná a talaj

vízmegekötő képességét, illetve hozzájárulna a területen termelt növények kiegyenlítettebb vízellátásához. Továbbá csökkenthetné a belvíz kialakulásának valószínűségét is.

A klímaváltozás természetesen a talaj szervesanyag tartalmára is hatást gyakorol, így annak folyamatos megfigyelése, kezelése nélkülözhetetlen feladat a vízkárelhárítás tekintetében.

Lényeges stratégiai feladat a talaj védelme, és ami ennél is fontosabb, a fent említett úgynevezett jó vízgazdálkodású területek százalékos növelése, a talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak figyelembe vétele mellett.

A felszínre jutó víz talajba szivárgásának és a talajban történő hasznos tározásának elősegítése tehát eredményesen járul hozzá az időjárási anomáliák káros hatásainak tompításához, a rendkívüli vízháztartási helyzetek (árvíz, belvíz, túlnedvesedés – aszály) kockázatának csökkentéséhez, kedvezőtlen gazdasági, környezeti, ökológiai és társadalmi következményeinek elhárításához, megelőzéséhez.

A jövőben nem csak ár-belvízi elöntésekkel, de aszálygyakorissággal is legalább olyan mértékben kell számolnunk, ezért az utóbbi megelőzésére nagyobb gondot kell fordítani. Ilyen eljárás lehet többek között a nedvességmegőrző talajművelés, a csapadék beszivárgás elősegítése és megőrzése.

Elsődleges cél, hogy a talajok pórusterében olyan hasznos tározási formák jöjjenek létre (gyökérszóna és környezete), melyekből a különböző növénytársulások olyan mértékben jutnak nedvességhez, amennyire éppen szükségük van.

„A talaj vízgazdálkodásának tudományosan megalapozott szabályozását, ezért sem egy környezetvédelmi, vízgazdálkodási, agro-ökológiai, mezőgazdaság-fejlesztési, agrár-környezetvédelmi, sem pedig egy klímaváltozási program nem nélkülözheti.”[4]

## ÖSSZEZGÉS

Jelen cikkem a levegő, (édes)víz, talaj „hármását” vizsgálta, elsősorban hazai biztonsági aspektusból.

Végig logikai vonalat követett, hiszen a levegő-léghő változásaiból levezethetőek az időjárásban bekövetkező jelentős torzulások, ezen belül is édesvízkészlet/csapadékváltozás, mely következmények pedig átalakítják a talaj szerkezetét, megváltoztatva annak minőségét, átformálva a rajta élő vegetációt és természet kultúrát.

Egy ilyen ütemű természeti folyamat antropogén felgyorsítása az egyik legnagyobb emberi hiba, melynek rövid és hosszú távú következményei már mindenki számára ismeretesek, azonban tenni eredményesen mégsem sikerül ellen.

Nem tudni minek kell történnie ahhoz, hogy a világ államai együttes erővel, kivétel nélkül elkötelezzék magukat az éghajlatváltozás elleni tényleges küzdelemre, de sajnos az előre borítékolható, hogy emberi életek tömegeivel fizetünk majd meg e késlekedésért.[5]

---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] [http://ec.europa.eu/environment/climat/campaign/news/news08\\_hu.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/campaign/news/news08_hu.htm)Letöltve:2009.10.22.
- [2] HVG: Rekordot döntött tavaly a levegő szennyezettsége (2012.03.14.)Letöltve:2012.03.15.  
[http://hvg.hu/Tudomany/20120314\\_levego\\_szennyezettség\\_szendioxid](http://hvg.hu/Tudomany/20120314_levego_szennyezettség_szendioxid)
- [3] Kitekintő: Nem fogjuk megállítani a klímaváltozást a helyettes államtitkár szerint. Letöltve:2012.01.27.  
[http://m.kitekinto.hu/global/2012/01/25/nem\\_fogjuk\\_megallitani\\_a\\_klimavaltozast\\_a\\_helyettes\\_allamtitkar\\_szerint](http://m.kitekinto.hu/global/2012/01/25/nem_fogjuk_megallitani_a_klimavaltozast_a_helyettes_allamtitkar_szerint)
- [4] Várallyay György: Talaj–víz kölcsönhatások a klímaváltozás tükrében MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest pdf. Letöltve: 2012.01.21. <http://www.talaj.hu/vgy2008/1-0vgy2008.pdf>
- [5] Koller József-Lévay Gábor-Kohut László-Padányi József: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására. Stratégiai és Védelmi Kutatóintézet Budapest, Védelmi Tanulmányok 63. (2010). pp. 57.





Terpecz Gábor<sup>1</sup> – Dr. Schuster György Phd<sup>2</sup>

## VIRTUÁLIS TANULÁSI KÖRNYEZETEK (VTK) ALKALMAZÁSA A MÉRNÖK-MŰSZAKI OKTATÁSBAN<sup>3</sup>

*Világtendenciává vált a modern oktatásban a virtuális oktatási környezetek alkalmazása és az eLearning. Hazánkban is egyre nagyobb teret hódítanak maguknak a virtuális képzési formák mivel a gazdasági válság új helyzetet teremtett. Az oktatásból történő folyamatos pénzelvonások, megszorítások mellett a hallgatói létszám növekszik. Ennek hatására, egyre több képző intézmény, köztük az OE KVK is elkezdte a virtuális oktatási környezetek bevezetését. A VTK jellemzőinek ismertetésén túl, megosztjuk a tapasztalatainkat és bemutatunk néhány technológiai demót.*

### **APPLIED THE VIRTUAL LEARNING ENVIROMENT IN THE TECHNICAL-ENGINEER EDUCATION**

*State of art educational environments and eLearning have been getting widespread. Virtual education forms gain on wider and wider area. In spite of continuous financial restrictions of education students' number is increasing. As a consequence of these more and more universities and colleges – such as OE KVK – start to apply virtual educational environments. We would like to take our experience into readers' confidence and we show some technological demos.*

## A VIRTUÁLIS TANULÁSI KÖRNYEZET (VTK) FOGALMA, JELLEMZŐI

### **A virtuális tanulási környezet meghatározása**

A virtuális tanulási környezet (angolul VLE<sup>4</sup>) a tanítási- tanulási folyamatot hálózati alapon támogató szoftveres környezet. A külföldi szakirodalomban LMS<sup>5</sup> és LCMS<sup>6</sup>-ként ismert fogalmak tananyagok által történő kapcsolódásaként jött létre.

### **A virtuális tanulási környezet jellemzői**

1. mint infokommunikációs eszköz, az alkalmazott digitális tartalmak alkalmazása technológiailag jelentősen eltér a „hagyományos” oktatási formáktól;
2. a tanulási folyamat a tanár személyes jelenlétére már csak kis mértékben alapoz;
3. az eLearning tananyagok szabványos platformjaként térben és időben független tanulási lehetőséget biztos;
4. interaktivitás;
5. multimédiás tartalmak alkalmazása;

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, terpecz.gabor@kvk.uni-obda.hu

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Békési László ny. ezds; főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék

<sup>4</sup> Virtual Learning Enviroment

<sup>5</sup> Learning Management System

<sup>6</sup> Learning Content Management System

6. a jelentősebb reprezentánsai támogatják az m(obile)Learninget. Az oktatási tartalmak mobiltechnológiák (okos telefon, iPod, stb...) segítségével utazás közben is elérhetők;
7. Tanulásszervezési funkciók hatékony alkalmazása.

## A VIRTUÁLIS TANULÁSI KÖRNYEZET (VTK) ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

### Előnyök a hallgatók számára

Szabványos web böngészővel kényelmesen elérhető felületet biztosít.



1. ábra Egy virtuális oktatási környezet címlapja szabványos böngészőből nézve

A nap 24 órájában helytől függetlenül elérhető tartalmak folyamatos felkészülési lehetőséget biztosítanak. Ennek főleg a táv és levelező oktatásban van komoly jelentősége, hiszen a kontakt alkalmak lehetősége meglehetősen korlátozott.



2. ábra VTK mobil telefonon



3. ábra VTK tableten

A VTK a tanuló egyéni igényeihez jobban idomul. Eltérő tanulási stílussal rendelkező hallgatók is használhatják, ahol maguk állíthatják be az időbeosztásukat.

A hallgatók könnyebben elérik az instruktort vagy a tutort, mint hagyományos oktatás esetén, ahol a fogadóóra-ra kell bejelentkezni. A program egyenlő elbánásban részesíti a résztvevőket.

## Nyitott információforrások

Az online tanulás során rendelkezésre álló információforrások új jellemzője a nyitottság. Egyrészt jelenti a nyitottság azt, hogy interneten hozzáférhető elektronikus dokumentumok jelentős része a webes technológiák információszerzéséből adódóan alapvetően nyitott.

Egy elektronikus dokumentumból általában továbbléphetünk más dokumentumokhoz, további adatbázisokhoz. Ez legtöbbször lehetővé teszi, hogy a dokumentum szerzőjével, a honlap készítőjével való közvetlen kapcsolatot kialakítva további információkhoz jussunk. Másrészt a hipertextes hivatkozások köre is változhat, módosulhat, tehát a célinformáció környezete is nyitott.

Az információk napról-napra változnak, ami előnyös abból a szempontból, hogy a tanuláshoz szükséges információk mindig aktuálisak, naprakészek. Hátránya és éppen ebből következik, hogy amikor az interneten elérhető információforrásokra tanulási programokat építünk, tudatában kell lennünk annak, hogy egy tartalmában és kapcsolatrendszerében változó és változtatható információs halmazzal van dolgunk.

Webalapú kurzusok minimális létszámot elérő jelentkező esetén bármikor indulhatnak. A tanulók időt, útiköltséget, szállást, ellátást takaríthatnak meg az VTK használatával. Ezeken kívül, mintegy járulékként „ingyen” fejlődnek a tanulóknak olyan képességei, mint a számítógépes ismeretek és készségek, verbális készség, nyelvismeret, gépelési készség. A tanuló (ha nem cége iskolázta be) választhat a weben lévő tanulási lehetőségek között.

Alaposan utána nézhet egyes képző cégeknek, referenciáiknak, kapcsolatba léphet már kurzust végző hallgatókkal, mérlegelheti az árakat, gyors összehasonításokat tehet a web jóvoltából. Mindezt anélkül, hogy telefonálnia kellene vagy kimozdulnia otthonról.

### **Előnyök egyetemek, főiskolák számára**

Az iskolarendszeren belüli képző intézmények (főiskolák, egyetemek) fiatalok és felnőttek oktatásával egyaránt foglalkoznak, nagy számban léptek be a szakképzések rendszerébe is.

Bár ügyfélkezelésük általában még hagy kívánnivalót maga után patriarchális és nehezkesebb, mint az iskolarendszeren kívüli, lényegesen kisebb méretű szakképző cégeké, nagyon komoly piaci lehetőségeik vannak.

Ez főleg az általuk kibocsátott oklevelek elfogadottságában rejlik. Mind az iskolarendszeren belüli, mind a szakképzési, felnőttoktatási területen sok lehetőséget tartogat a virtuális tanulási környezet. Különösen a fent említett tanulási rendszer teljes körű menedzselésben, és az elméleti szakemberek koncentrációja miatt vélhetőleg a minőségileg magas színvonalú webalapú oktatási anyagok kidolgozásában. Itt problémaként az intézmények esetében már meglévő informatikai rendszerek és a virtuális tanulási környezet összehangolása jelenhet meg. A tanszékek, intézetek mint tudásközpontok a tudás menedzselésében, a kutatócsoportok együttműködésében, a projekteken való közös munkában (helyszíntől függetlenül) használhatják. Ez jelentősen kibővíti a sok helyen hagyományosan használt elektronikus levelezést vagy levelező listákat.

## Előnyök szakképzéssel foglalkozó intézmények számára

A szakképzésben használatos anyagok elektronikus formában történő feldolgozása már több képző intézmény számára hozott komoly sikereket. A jövőben ez a feldolgozás már nem innovációs készséget hivatott majd demonstrálni, hanem a felhasználói igények miatt kialakuló piaci kényszerűség lesz. Fontos észrevenni azt, hogy a képzés egy adott modulja akkor elektronizálható, ha főként ismeretátadó, s nem személyes interakciót igénylő, készségfejlesztő jellegű. Példaként megemlíjtük, hogy egy gazdasági jellegű képzés ügyfélszolgálati ismeretek anyagrészeinek egyik modulja önismereti készségek fejlesztése, egy másik a vezetői visszajelzés kompetenciáit oktatja. Ezekben az esetekben a VTK és az eLearning inkább kiegészítő eszköz lehet, mivel a fizikai személyes jelenlét, és a hozzá kapcsolódó kontaktus az oktatóval elengedhetetlen. Éppúgy ahogy az iskolarendszer keretein belül működő intézményeknél, a szakképzés esetén is a virtuális tanulási környezet teljes körű menedzselésének átalakítását is jelenti, jelentheti. Az elterjedtebb VTK-k előnyei, hogy biztonságosak, könnyen áttekinthetőek, egyszerűen adminisztrálhatóak egységes felületet biztosítanak és rugalmasan perszonalizálhatók.

## Előnyök tanárok számára

A tanár (instruktor, tutor) a modern IKT-k adta lehetőségeket kihasználva világ bármely pontjáról taníthat.



4. ábra: Az adminisztráció meglehetősen egyszerű

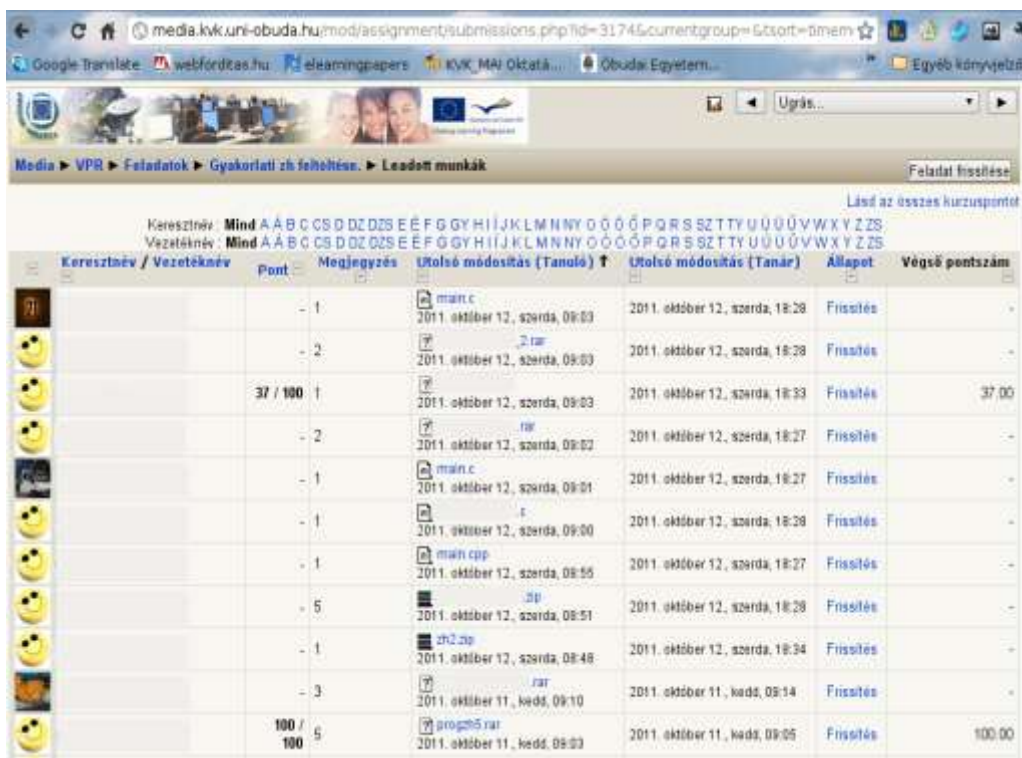
Például akár konferencia vagy szabadság alatt is menedzselheti (a VTK-n keresztül) a kurzusok, csoportok haladását, olvashatja az e-mailjeit, figyelheti a hallgatók tevékenységét a fórumokon, válaszolhat a kérdésekre.

A távolság ellenére az oktatott kurzusok egy másik helyszínről (akár külföldről is) figyelhetők, koordinálhatók.

Ez az oktatóknak rendkívüli mobilitást jelent, ami a tanulmányutak, konferenciák szempontjából nagy előny. Ugyanakkor kevesebb időt és pénzt kell utazásra fordítani, mint a hagyományos oktatás esetén, hiszen az óraadó egyetemi tanárok esetében megszűnik az ingázás kényszere.

Az eLearning kurzusok tartalma multimédiás lehetőségeknek és a nagyfokú interaktivitásnak köszönhetően sokkal dinamikusabb, mint ahogy azt „hagyományos” oktatásban megszokhatjuk. Egy szemléletes példát, a legfrissebb kutatások eredményeit szinte azonnal integrálni lehet a tananyagba nem szólva a műszaki képzések drága vagy beszerezhetetlen eszközeinek, folyamatainak szimulációjáról.

Az oktató egyszerűbben ellenőrizheti (gyakran egy kattintással) a hallgatók által megadott források, hivatkozások hitelességét, beadott (feltöltött) feladatait, valamint más, hasonló kurzuson dolgozó tutorokkal információt cserélhet, megvitathatja tapasztalatait, tanácsot kérhet vagy adhat.



Keresztnev / Vezetéknév	Pont	Megjegyzés	Utolsó módosítás (Tanuló) ↑	Utolsó módosítás (Tanár)	Állapot	Végző pontszám
	- 1		main.c 2011. október 12, szerda, 09:03	2011. október 12, szerda, 18:28	Frissítés	-
	- 2		jar 2011. október 12, szerda, 09:03	2011. október 12, szerda, 18:28	Frissítés	-
	37 / 100	1		2011. október 12, szerda, 09:03	Frissítés	37,00
	- 2		jar 2011. október 12, szerda, 09:02	2011. október 12, szerda, 18:27	Frissítés	-
	- 1		main.c 2011. október 12, szerda, 09:01	2011. október 12, szerda, 18:27	Frissítés	-
	- 1		e 2011. október 12, szerda, 09:00	2011. október 12, szerda, 18:28	Frissítés	-
	- 1		main.cpp 2011. október 12, szerda, 09:55	2011. október 12, szerda, 18:27	Frissítés	-
	- 5		jar 2011. október 12, szerda, 09:51	2011. október 12, szerda, 18:28	Frissítés	-
	- 1		zh2.zip 2011. október 12, szerda, 09:48	2011. október 12, szerda, 18:34	Frissítés	-
	- 3		jar 2011. október 11, kedd, 09:10	2011. október 11, kedd, 09:14	Frissítés	-
	100 / 100	5	prog5.jar 2011. október 11, kedd, 09:03	2011. október 11, kedd, 09:05	Frissítés	100,00

5. ábra: Példa a hallgatói tevékenységek követésére

## Az elektronikus oktatás hátrányai

Az elektronikus oktatás legnagyobb hátrányaként az oktató és hallgató közötti személyes kapcsolat hiányát róják fel. A tisztán virtuális tanulási környezetben zajló képzést több jogos kritika éri mert a gyakorlat tapasztalatszerzés és az elmélet együttese nehezen pótolható tanulásból. [1] Nem közvetíthető minden tudás, bizonyos képességek és tudásanyag egyáltalán nem, vagy csak részben és nehezen adható át.

## AZ VTK ÉS A HAGYOMÁNYOS OKTATÁSI KÖRNYEZET ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Korábban említettük a tér-és időfüggetlenséget, mint az VTK egyik hatékonyságát elősegítő tényezőt. Hagyományos oktatásban a tanulási környezet az iskolát, az osztálytermet jelenti, míg a virtuális tanulási környezetnek nincsenek ilyen értelemben fizikai korlátai.

Ahogy az oktatás alakul, a tanulási környezeteknek is fejlődniük kell, bizonyos alap „ajánlásoknak” teljesülniük kell megfelelő szinten. Az 1. táblázatban találhatóak az információs társadalomhoz történő csatlakozás iskolai feltételei.<sup>7</sup>

Ajánlások	Mutatók	Pillanatnyi helyzet
Minden iskolában meg kell teremteni az internetre való csatlakozás feltételeit.	Az internetre kötött iskolák száma. Számítógép/tanuló arány.	Lényegében minden iskola rendelkezik vele. A felnőtt tanulók esetében az iskolai programok a kezdeteknél tartanak.
Fejleszteni kell az iskolai számítógépek multimédiás kapacitásait.	Az iskolai menedzsment ügyességének, ambíciójának és a fenntartói kapacitásnak a függvénye (jelenleg még nem vált általánossá).	Az iskolarendszerű felnőttoktatás keretei között gyakorlatilag nem alkalmazzák.
Biztosítani kell, hogy minden tanár ellenőrizhetően kompetens legyen az informatikában.	Ez a program a kezdeteknél tart, többnyire az egyéni ambíciókra épül.	ua.
Annak a képességnek a kifejlesztése, hogy a tanárok integrálják az informatikai eszközöket az oktatásba.	Van rá példa, de nem lehet általános gyakorlatnak tekinteni.	Kevés kezdeményezés történt a felnőttoktatásban.
Tartalomfejlesztő hálózatok támogatása az oktatási szektorban.	A kezdeteknél tart ez a törekvés.	Nincs rá példa.
Köz- és magánpartnerségen keresztül az informatikai eszközök tantervbe integrálása.	A kerettantervekben (és korábban a NAT-ban) megjelent ez a szándék.	A felnőttek számára készült kerettantervben megjelent ez a szándék.

1. táblázat Csatlakozás iskolai feltételei

<sup>7</sup> Mayer József: A tanulás kora

A Web 2.0 szolgáltatásoknak két közös vonása van. Ezek a tartalmak megosztása és az interakció. A jelentősebb virtuális tanulási környezetek modularitásuknak köszönhetően képesek hatékonyan integrálni a Web 2.0 szolgáltatások többségét meggyek a következők:



6. ábra A YouTube névjegye

A népszerű videomegosztó portál segítségével rengeteg, az oktatást kiegészítő videó érhető el mely segítheti a hatékony szemléltetést.

### YouTube az iskoláknak szolgáltatás



7. ábra A YouTube EDU névjegye

A iskoláknak szolgáltatás az több ezer ingyenes oktatóvideó elérését teszi lehetővé az iskolák számára a YouTube EDU rendszeréből. Ezek a videók javarészt olyan neves szervezetektől származnak, mint a Stanford, a PBS vagy a TED. Megtalálhatók emellett olyan dinamikus fejlődő YouTube-partnerek videói, mint a Khan Academy, Steve Spangler Science vagy a Numberphile, nem ritkán több milliós nézettséggel.

#### Előnyök az iskolák számára

Az iskolák rendszergazdái és tanárai bejelentkezhetnek és bármilyen videót megnézhetnek, míg a tanulók számára a bejelentkezés nem megengedett. Csak a YouTube EDU-n található, illetve a saját tanárai által megosztott videókat láthatják. A megjegyzések és a kapcsolódó videók le vannak tiltva, a keresés kizárólag a YouTube EDU videóira korlátozódik.

#### Előnyök a tanárok számára

Az oktatási intézményben elérhető tartalmak témaköre személyre szabható. Minden iskola elérheti a teljes YouTube EDU tartalmat, azonban a tanároknak és rendszer/informatikusoknak lehetőségük van olyan videók lejátszási listáinak létrehozására, amelyeket csak az iskolai intranetről érhető el.

*„A YouTube.com/Teachers több száz olyan videóból álló lejátszási listával rendelkezik, amelyek megfelelnek az általános oktatási elvárásoknak, és téma, valamint osztály szerint vannak csoportosítva. A lejátszási listákat tanárok készítették tanároknak, így mostantól több idő marad a tanításra, hiszen kevesebb időt kell keresgélésre fordítanod.”<sup>8</sup>*

---

<sup>8</sup> [www.youtube.com/schools](http://www.youtube.com/schools)

## Twitter



8. ábra A twitter névjegye

A virtuális tanulási környezetek adta lehetőségeken túl lehetőséget teremt csoportok, mikro blogok létrehozására és információk gyors megosztására, üzenetváltásra segítve ezzel a szociális tanulás lehetőségének megteremtését.

## Skype



9. ábra A Skype névjegye

Annak ellenére, hogy a virtuális oktatási környezetek tartalmaznak integrált üzenet küldő szolgáltatásokat, a Skype szerepe az oktatásban egyre növekszik. Lehetőség van konferencia beszélgetésre és képernyő megosztására a beszélgetés résztvevőivel. A szoftver képességi modulárisan pluginok segítségével folyamatosan növelhetők.



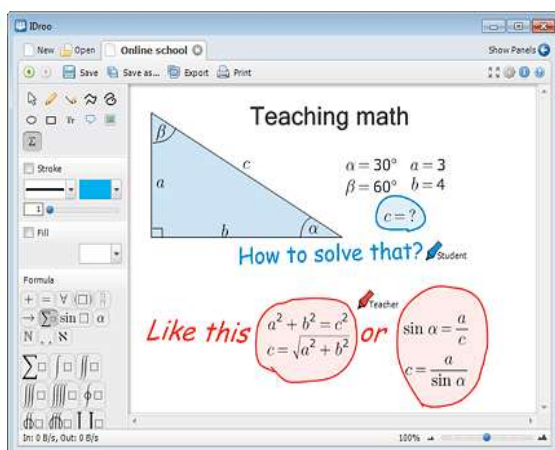
10. ábra Az IDroo névjegye

## IDroo

Az IDroo egy „Whiteboard” Sykpe plugin melynek segítségével egy virtuális táblát hozhatunk létre amit megoszthatunk a beszélgetés résztvevőivel. A kényelmesebb rajzolás érdekében a rajzokat készíthetjük Wacom vagy más digitalizáló tábla segítségével.



11. ábra Teszt javítása

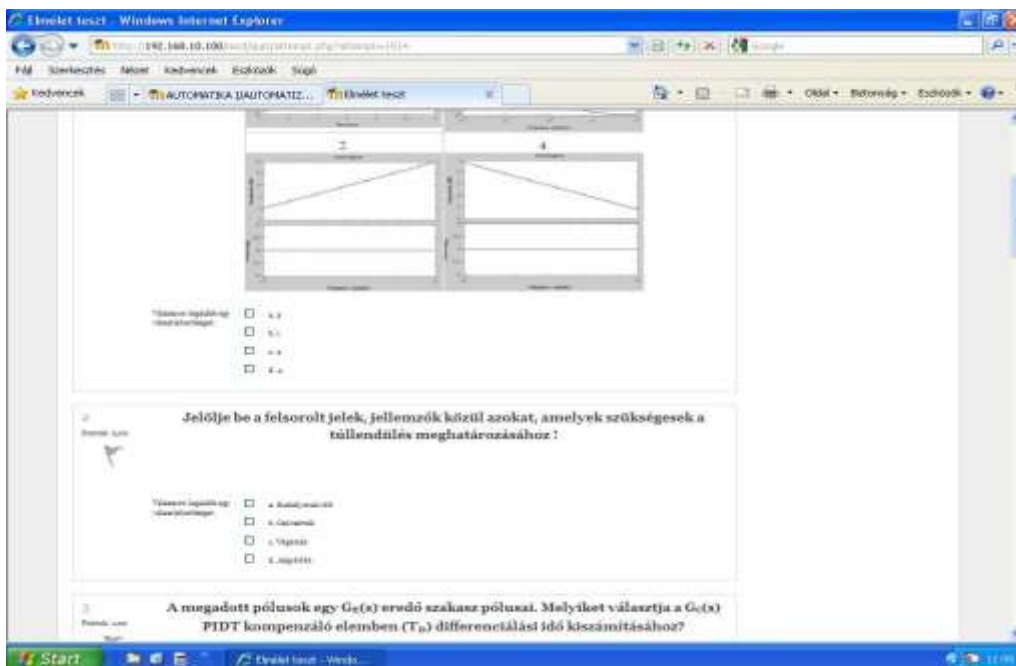


12. ábra Szerkesztett és szabadkézi rajz



## A VTK GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK TAPASZTALATAI AZ OE KVK MAI-BAN

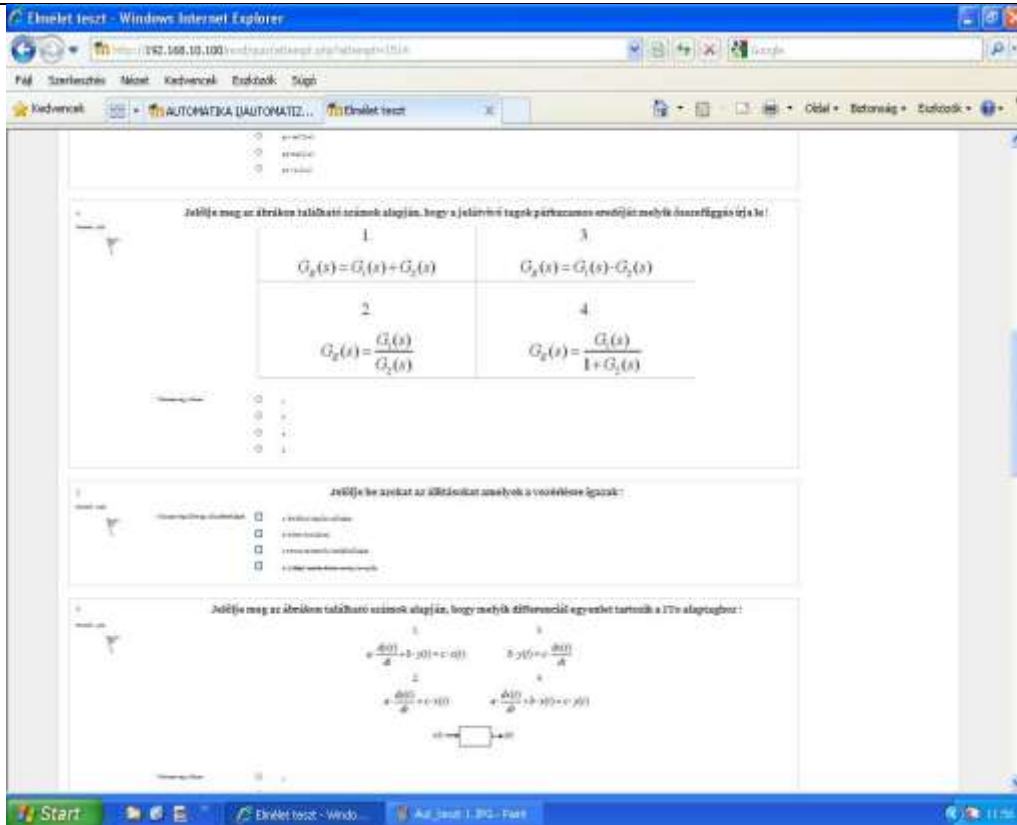
Az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karán immáron hetedik féléve alkalmazunk virtuális oktatási környezetet a programozás I-II, automatika, biztonságtechnika tárgyak, valamint médiatechnológus asszisztens képzés „blended learning” formában történő oktatásánál. Ez az oktatási forma az eLearning és a hagyományos oktatás ötvözésével segíti hallgatóinkat a követelmények teljesítésében.



13. ábra Részlet az Automatika I. tantárgy 5 perces tesztjéből

Az informatika laborokon a gyakorlati oktatást megelőzve, a laborhoz tartozó előadás anyagát interaktív teszt előzi meg mint egy 5 percen visszacsatolásként a hallgatók elméleti felkészüléséről. Programozás I-II, Automatika I tárgyakból teljesen kiváltva a papír alapú vizsgáztatást, valamint az ezzel járó tetemes nyomdai és papír költségeket. A vizsgát képező elektronikus tesztek a leadást követően azonnal automatikusan kiértékelődnek és az eredmények ezt követően helyben a hallgatók tudomására jutnak. A vizsgaeredmények exportálhatóak ODS vagy XLS formátumba megkönnyítve az egységes tanulmányi rendszerekbe történő adatbevitelt.

A 13. ábrán egy, a virtuális tanulási környezetben használt teszt részlet látható. Ezeket a tesztek a hallgatók az Automatika I. tárgy laborfoglalkozásainak elején írják meg a labort megelőző előadás és a hozzá kapcsolódó jegyzet [2] anyagából, mint egy 5 percen visszacsatolásként az elméleti felkészültségükről. A teszt popup ablakban jelenik meg, és csak egyszer lehet megoldani. Egy visszaszámláló „stopper” segítségével a hátralévő idő folyamatosan követhető. Az idő leteltkor a rendszer automatikusan elküldi a tesztet. Azonnali kiértékelést követően megjelenik az eredmény. A laborok meglehetősen nagy létszámúak, 22-24 fő/alkalom.



14. ábra Számításos feladatok Automatika I tárgyból

A teszteken kívül a laboratóriumi feladatokat és a példatár [3] feladatait is a VTK-ból töltik le a hallgatók majd a feladatok elvégzése után a kapott eredményeket, megoldásokat is ide töltik vissza a saját profiljukba. Az oktatók ellenőrizhetik, minősíthetik a munkákat és megjegyzéseket is írhatnak. Tesztek alkalmazására nem csak laborfoglalkozások elején, hanem a vizsgaidőszakban is sor kerül az elméleti anyagok számonkérésére. Ez Automatika I tárgyból 250-270 főt jelent évfolyamonként és alkalmanként.

## A VTK-BAN ALKALMAZHATÓ ÚJ GENERÁCIÓS OKTATÁSI TARTALMAK

Ebben a fejezetbe bemutatunk néhány interaktív, multimédiás oktatási anyagot mely hatékonyan segíti elő a táv és levelező oktatást. A jó és megbízható virtuális oktatási környezet leegyszerűsíti az oktatási tartalmak menedzselését és használatuk kényelmes megoldást nyújt az oktatás résztvevőinek, ez önmagában még kevés az ismeretanyagok hatékony elsajátításához. Megfelelő elektronikus tananyag hiányában ez nem lehetséges.

Célunk olyan oktatási tartalmak kifejlesztése, melyek maradéktalanul teljesítik a minőségbiztosítás támasztotta követelményeket, megfelelnem az eLearning szabványoknak, szakmailag és didaktikailag korszerűek és nem utolsó sorban a hallgatók számára is csábítóak. A következőkben bemutatunk néhány technológiai demót, melyet saját anyagaink fejlesztéséhez vagy partnereink kérésére fejlesztettünk.



15. ábra Interaktív, aerodinamika oktató eLearning csomag egyszerű felülettel

Hangsúlyozzuk, hogy a bemutatandó anyagok nem teljes értékű tananyagok, kizárólag a technológiák és szolgáltatások bemutatását hivatottak ismertetni.



16. ábra Automatika I példatár testre szabható komplex felülettel

A 16. ábrán látható felületen a következő szolgáltatások láthatók a bal szekcióban: Tartalom haladáskövetéssel, bélyegkép az oldalakról, az oldalakhoz tartozó megjegyzések megjelenítése és a teljes körű keresés.



17. ábra A 16. ábrán látható összetett felület kiegészítve az előadó adataival

Jobb szélén fent: az oldalakhoz tartozó mellékletek letöltése, lent a felület testreszabását lehetővé tevő grafikus menü ikonja, középen lent a vezérlő panel.

A 17. ábrán látható felület tartalmazza az előadó fotóját, nevét, beosztását. A Biográfia gomb segítségével elolvasható a részletes szakmai önéletrajz, az Email gomb segítségével közvetlenül küldhető elektronikus levél.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A virtuális tanulási környezetek új távlatokat nyithatnak az oktatásban, jelentős költséget megtakarítva a képző intézményeknek. Az elterjedtebb környezetek (Moodle, Claroline, ILEAS ...) kivétel nélkül opensource megoldások melyek hatékonyan alkalmazhatók a hagyományos képzések kiegészítéseként. Jó hír, hogy kormányzati szinten megjelentek már a pályázatok oktatási anyagok digitalizálására melyek kellően átgondolva, lehetőséget teremtenek az eLearning formában történő VTK integrációra.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Peters, R.S, The Philosophy of Education,
- [2] dr. Neszveda József, Automatizálás eszközei, 2009
- [3] dr. Neszveda József, Automatika I. Példatár, 2011



Gácsér Vera<sup>1</sup> – Molnár Ágnes<sup>2</sup>

## A HIGROSKÓPOS NÖVEKEDÉS HATÁSA AZ AEROSZOL EXTINKCIÓRA<sup>3</sup>

*A látótávolság – mint a közúti és légi közlekedés fontos tényezője – a rövidhullámú sugárzásgyengítés függvénye, ami elsősorban az aeroszol részecskék extinkciójának eredménye. Ugyanakkor a részecskék vízmegkötő tulajdonsága miatt a levegő vízgőztartalma is befolyásolja a látótávolságot. A vízfelvétel során ugyanis a részecskék keresztmetszete többszörösére nőhet, és ezzel fényszóró tulajdonságuk is jelentősen megnő. Többéves adatsorok (1995-2002) alapján megállapítható, hogy a téli és nyári időszakból származó extinkciós együtthatók higroszkópos növekedése nagymértékben különbözik egymástól. E tanulmány annak vizsgálatára irányult, hogy a higroszkópos növekedésben tapasztalt határozott évszakos eltérés általános jelenségnek tekinthető-e. Ennek érdekében eltérő környezeti feltételek mellett vizsgáltuk az aeroszol extinkciós együtthatójának higroszkópos viselkedését magyarországi mérőállomások adatai alapján.*

### **THE EFFECT OF HYGROSCOPICITY ON THE AEROSOL EXTINCTION**

*Visibility, which is an important factor in surface and air traffic, is the function of the shortwave light extinction, mainly the extinction of the aerosol particles. Due to the hygroscopicity of the particles, relative humidity has also an important influence on the control of the visibility. Taking up water from the atmosphere, the size of the particles increases, consequently their optical properties change considerably. According to data from a longer period (1995-2002) hygroscopic growth of the extinction coefficient is substantially different in winter and in summer. The aim of this present work is to study if the seasonal variation of the hygroscopic growth rate can be considered as a general phenomenon. For this reason we examined the hygroscopic behavior of the aerosol extinction coefficient under different environments on the basis of the data of several Hungarian meteorological stations.*

## BEVEZETÉS

A légköri szennyező anyagok mennyisége, illetve koncentrációjuk változása fontos szerepet játszik mindennapi életünkben, hatással van életminőségünkre. A levegő szennyezettségi állapota közvetlenül befolyásolja a látótávolságot, amely turisztikai és tájvédelmi jelentősége mellett, elsősorban a közúti és a légi közlekedés fontos tényezője.

A látótávolság a rövidhullámú sugárzásgyengítés függvénye, ami a levegő molekulák (Rayleigh-szórás) és az aeroszol részecskék (Mie-szórás) együttes szórásának és elnyelésének az eredménye. Mivel a molekulák fénygyengítése gyakorlatilag állandónak tekinthető, a látótávolságot alapvetően az aeroszol részecskék extinkciója határozza meg. A látótávolság és a részecskék extinkciója közötti kapcsolatot az ún. Koschmieder-formula adja meg. Ismert tény, hogy a látótávolságot a levegő vízgőztartalma is jelentősen befolyásolja az aeroszol részecskék higroszkóposságának következtében. A vízfelvétel során ugyanis a részecskék keresztmetszete (optikai mérete) akár többszörösére is nőhet, és ennek következtében fényszóró tu-

<sup>1</sup> Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék, vera.gacser@chello.hu

<sup>2</sup> Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

lajdonságuk is jelentősen megnő. A higroszkópos növekedést az extinkciós együtthatóra vonatkozó higroszkópos növekedési faktor segítségével lehet figyelembe venni.

Korábbi, 2009 telén és nyarán, Budapest-Lőrincen végzett mérési kampányok során – többek között – az extinkciós együttható alakulását is vizsgáltuk a relatív nedvesség függvényében. [1][2] Az eredmények azt mutatták, hogy a téli és a nyári időszakból származó extinkciós együtthatók higroszkópos növekedése nagymértékben különbözik egymástól. Többéves adatsorok alapján (1995-2002) megállapíthatjuk, hogy nem egyedi jelenségről van szó. A határozott évszakos eltérés minden vizsgált állomáson jelentkezik, az értékekben azonban jelentős különbségeket figyelhetünk meg – akár egymáshoz közeli mérőhelyeken is (pl. Budapest-Lőrinc, illetve Liszt Ferenc Repülőtér /Ferihegy/). E jelenségek magyarázata az aeroszol kémiai összetételében keresendő. Modellszámítások, előrejelzések készítése során nem elegendő tehát pusztán az aeroszol részecskék mennyiségét figyelembe venni, a kémiai összetétel, s ennek következtében a higroszkópos növekedést jellemző tényező is fontos az extinkció, illetve a látótávolság becslésekor.

## ELMÉLETI ALAPOK

Az aeroszol részecskék a Napból érkező rövidhullámú sugárzást szórják, illetve elnyelik. E két folyamat kombinációja adja a részecskék sugárzásgyengítését, azaz extinkcióját. A részecskék sugárzásgyengítő hatását alapvetően koncentrációjuk, kémiai összetételük és méret szerinti eloszlásuk határozza meg.

Vizsgálatok szerint a részecskék által okozott fénygyengítésben elsősorban a finom részecskék (0,1-1  $\mu\text{m}$ ) játszanak szerepet, melyek mérete összevethető a beeső fény hullámhosszával. Ebben a mérettartományban – melyet optikailag aktív tartománynak is nevezünk – a részecskék extinkciója a Mie-elmélettel írható le. A finom aeroszolt nagyrészt vízben oldódó anyagok (ammónium-, szulfát-, illetve nitrát-ionok), és széntartalmú (szerves vegyületek, korom) komponensek alkotják. Kutatási eredmények szerint a részecskék fényszórását elsősorban a szervetlen ionok (szulfátok, nitrátok), kisebb mértékben szerves anyagok okozzák. Ezzel szemben az elnyelés az aeroszol elemi széntartalmának (koromnak) köszönhető, bár a sivatagos területeken az elnyelés alakításában a durva részecskék tartományában ( $r > 1 \mu\text{m}$ ) lévő vas-oxidok is szerepet játszanak [3]. A részecskék sugárzásgyengítése mellett, a fény atomokon, molekulákon is szóródik. Ebben az esetben ( $d \ll \text{fény hullámhossza}$ ) molekuláris vagy Rayleigh-szórásról beszélünk. A Rayleigh-szórás nagysága a molekulák számától függ, értéke a talajközeli levegőben csak kismértékben változik. Mivel a Rayleigh-szórás gyakorlatilag állandó, ezért a látótávolságot alapvetően az aeroszol részecskék fényextinkciója, azaz a részecskék optikai tulajdonságai határozzák meg. A látótávolság és a részecskék fénygyengítése közötti kapcsolatot az ún. Koschmieder-formula adja meg:

$$\sigma_e = \frac{3,912}{VIS} \quad (1)$$

Az összefüggésben  $VIS$  és  $\sigma_e$  rendre a látótávolság (km-ben) és a részecskék 0,55 $\mu\text{m}$ -es hullámhosszra vonatkozó extinkciós együtthatója (km<sup>-1</sup>-ben).

A látótávolságot az aeroszol koncentrációja mellett, a levegő vízgőztartalma is jelentősen befolyásolja. Bár a vízmolekulák fénygyengítése önmagukban nem számottevő, az aeroszol ré-

szecskék higroszkópossága, vízmegkötő tulajdonsága miatt vízgőztartalom változása jelentős hatással van a látótávolságra. Az aeroszol vízmegkötő tulajdonságát a részecskék kémiai összetétele határozza meg. A vízfelvétel során a részecskék mérete (és a fényszórásban fontos keresztmetszete) akár többszörösére is megnövekedhet, s ennek következtében fényszóró tulajdonságuk is jelentősen megnő. [4][5][6] A légkör vízgőztartalma miatt fellépő ún. higroszkópos növekedést az extinkciós együtthatóra vonatkozó higroszkópos növekedési faktor segítségével lehet figyelembe venni.

## CÉLKITŰZÉS

Korábbi munkánkban, melyhez két mérési kampány kapcsolódott 2009 telén és nyarán Budapest-Lőrincen, már tanulmányoztuk a látótávolság és a relatív nedvesség kapcsolatát [2]. Az eredmények azt mutatták, hogy a látótávolság adatokból származtatott extinkciós együttható higroszkópos növekedése jelentősen eltér a téli és a nyári időszakban, télen – a relatív nedvesség emelkedésével – jóval erőteljesebben növekszik az extinkciós együttható. Jelenlegi munkánkban azt vizsgáltuk, hogy az extinkciós együttható szezonálisan eltérő higroszkópos növekedése általános jelenségnek tekinthető-e. Ennek érdekében néhány magyarországi szinoptikus mérőállomás többéves (1995-2002) látótávolság és relatív nedvesség adatait (NOAA) dolgoztuk fel.

## VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

### Mérési adatok

Munkánkban az Országos Meteorológiai Szolgálat földfelszíni mérőhálózatának 1995 és 2002 között mért adatait használtuk föl (Integrated Surface Hourly Observations, NOAA National Data Center). [7] Előadásunkban nyolc helyszínre (Budapest-Lőrinc, Liszt Ferenc Repülőtér, Veszprém, Szentkirályszabadja, Szolnok, Kecskemét, Siófok és Kékestető) vonatkozó eredményeinket mutatjuk be. A látótávolság adatokból (vizuális megfigyelés) a Koschmieder-formulával származtattuk a környezeti extinkciós együttható értékét. A meteorológiai paraméterek (látótávolság, relatív nedvesség) órás felbontásban álltak rendelkezésre.

### A higroszkópos növekedés figyelembe vétele

Az aeroszol által okozott fénygyengítésben a finom részecskék játszanak meghatározó szerepet, melyeket nagyrészt vízben oldódó anyagok (ammónium-, szulfát-, illetve nitrát-ionok) alkotják. Ennek következtében extinkciójuk jelentős mértékben függ a környezeti levegő relatív nedvességétől. [6][8][9] Az extinkciós együttható higroszkópos növekedését az ún. higroszkópos növekedési faktor ( $f$ ) segítségével adhatjuk meg [10], amely a környezeti, illetve a száraz levegőre (általában 40%-os relatív nedvességre) becsült extinkciós együttható hányadosa:

$$f = \frac{\sigma_e(RH)_{\text{környezeti}}}{\sigma_e(RH)_{\text{száraz}}} \quad (2)$$

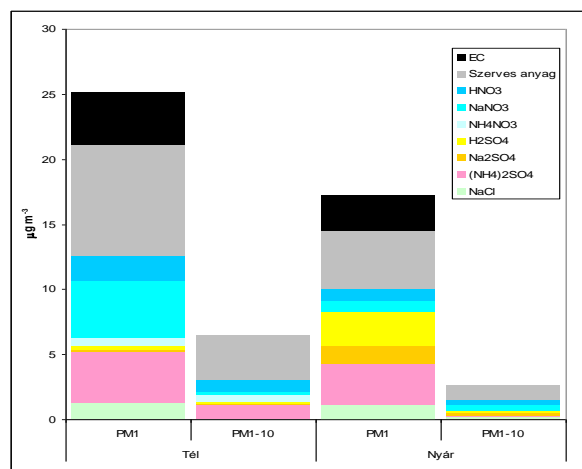
A száraz levegőre vonatkozó extinkciós együttható becslésére alkalmazható az ún.  $\gamma$ -módszer, amely az extinkciós együttható ( $\sigma_e$ ) és légkör relatív nedvességtartalma (RH(%)) közötti összefüggést írja le [10]:

$$\sigma_e = 10^c \times \left(1 - \frac{RH(\%)}{100}\right)^{-\gamma} \quad (3)$$

A modellben szereplő  $c$  és  $\gamma$  értékek a látótávolságból számolt extinkciós együttható, valamint a hozzájuk tartozó relatív nedvességtartalom segítségével számolhatók ki.

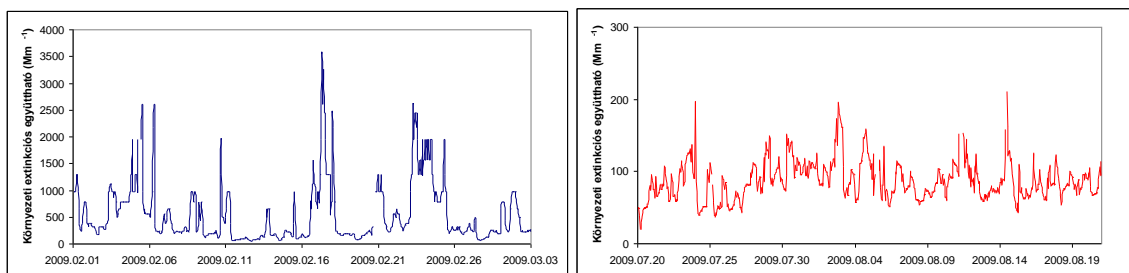
## AZ EXTINKCIÓS EGYÜTTHATÓ AZ AEROSZOLKONCENTRÁCIÓ ÉS A KÉMIAI ÖSSZETÉTEL FÜGGVÉNYÉBEN

A Budapest-Lőrincen mért adatok alapján elmondható, hogy az aeroszol kémiai összetételét télen a nitrátsók, a salétromsav és a szerves szén, nyáron a kénsav, szulfátsók magas aránya jellemezte. A PM1 és PM1-10 kémiai összetételét mindkét évszakban az 1. ábra mutatja be.



1. ábra PM1 és PM1-10 összetétele Budapesten

A kémiai összetétel vizsgálatával párhuzamosan a látótávolság adatokból számolt extinkciós együttható alakulását is vizsgáltuk. A 2. ábrán megfigyelhető, hogy a környezeti extinkciós együttható mindkét évszakban meglehetősen nagy változékonyságot mutat, és a téli időszakot jóval magasabb értékek jellemzik, mint a nyárit. A téli átlagérték  $550 \text{ Mm}^{-1}$ , míg a nyári ennek körülbelül ötöde, mindössze  $103 \text{ Mm}^{-1}$ . E jelentős eltérésnek csupán egy részére adhat magyarázatot a két időszakban tapasztalt tömegkoncentrációbeli eltérés. Feltételezésünk szerint különbség kialakulásában a levegő páratartalmának, illetve ezzel összefüggésben a részecskék higroszkóposságának van meghatározó szerepe.

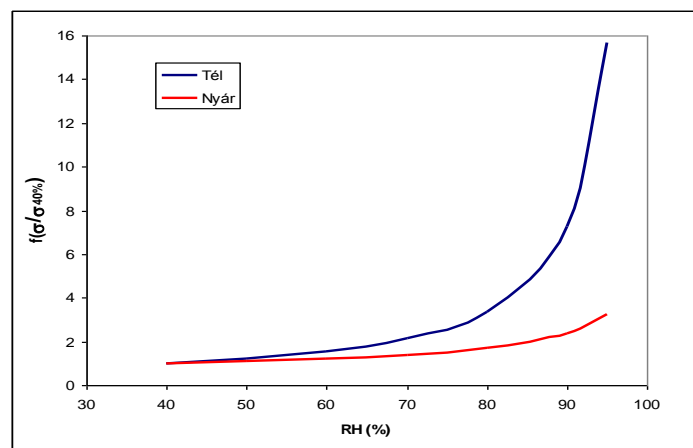


2. ábra A látótávolságból számolt környezeti extinkciós együttható Budapest-Lőrincen 2009 telén és nyarán



## AZ EXTINKCIÓS EGYÜTTHATÓ A RELATÍV NEDVESSÉG FÜGGVÉNYÉBEN

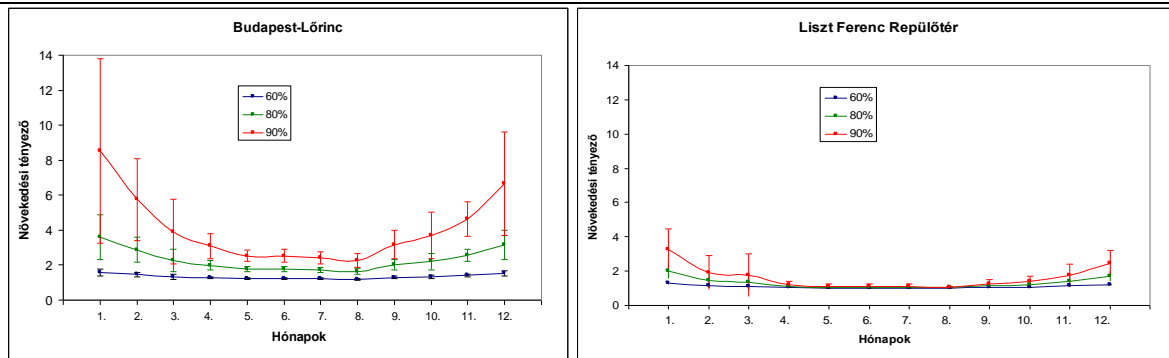
A korábban leírt módszerrel mindkét mintavételi időszakra vonatkozóan vizsgáltuk az extinkciós együttható higroszkópos növekedését a relatív nedvesség függvényében. Eredményeink azt mutatták, hogy télen – a páratartalom emelkedésével – jóval erőteljesebben növekszik az extinkciós együttható, mint nyáron (3. ábra). Pl. a higroszkópos növekedési tényező 90 %-os relatív nedvességnél télen 4,6, míg nyáron 2,3 volt. Ez arra utal, hogy ugyanakkora száraz aeroszol koncentráció és 90%-os relatív nedvesség esetén, télen az extinkciós együttható tényleges értéke kétszerese a nyárinak, illetve a látótávolság fele akkora télen, mint nyáron.



3. ábra A számolt extinkciós együttható változása a relatív nedvesség függvényében 2009. telén és nyáron Budapest-Lőrincen

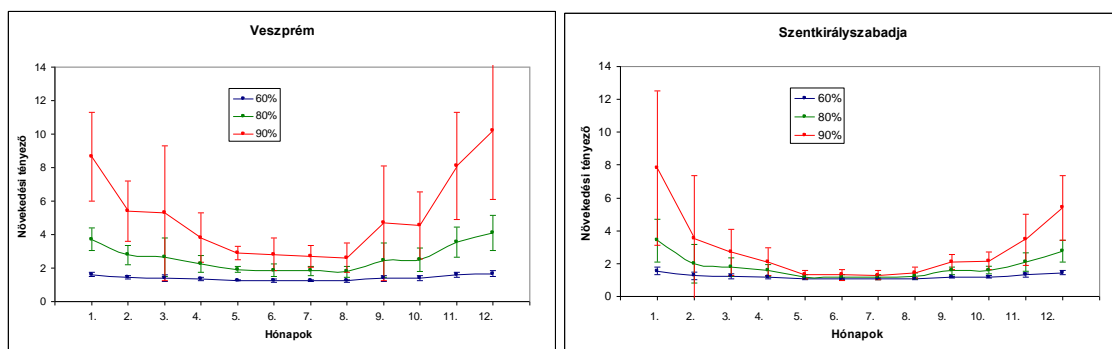
Ezen eredményekből kiindulva végeztük el először ugyanerre az állomásra (Budapest-Lőrinc) 1995. és 2002. közötti adatsorok feldolgozását. Kiderült, hogy a higroszkópos növekedési faktor többéves adatsorok alapján is jelentős évszakos változékonyságot mutat (4. ábra), és a 2009-es mérési kampány során tapasztaltak beleillenek a hosszabb adatsorok alapján kirajzoló éves menetbe.

Figyelembe véve az aeroszol kémiai összetételét, a higroszkópos növekedési tényezőben tapasztalt jelentős évszakos különbséget minden bizonnyal az aeroszol minták vízdoldható frakciójának változása okozhatja. Míg a szerves és az elemi szén, valamint az ammónium-szulfát részaránya a PM10-ben hozzávetőlegesen azonos volt mindkét évszakban, addig a nitrát tartalmú vegyületek koncentrációja a télen gyűjtött aeroszol mintákban közel kétszerese volt a nyáriaknak. A higroszkópos növekedési tényező téli nagy értéke valószínűleg a különböző nitrátsók (ammónium-, és nátrium-nitrát) és a salétromsav megnövekedett koncentrációja miatt alakul ki. Mindezt alátámaszthatja az is, hogy 60%-os relatív nedvességen a növekedés mértéke nem jelentős, ugyanis a nitrát tartalmú sók elfolyósodási pontja 64-66%-os relatív nedvességen van. (Az elfolyósodási pont az a relatív nedvesség, amelyen az adott vegyület/részecske fázist vált, s hirtelen növekedésnek indul.)



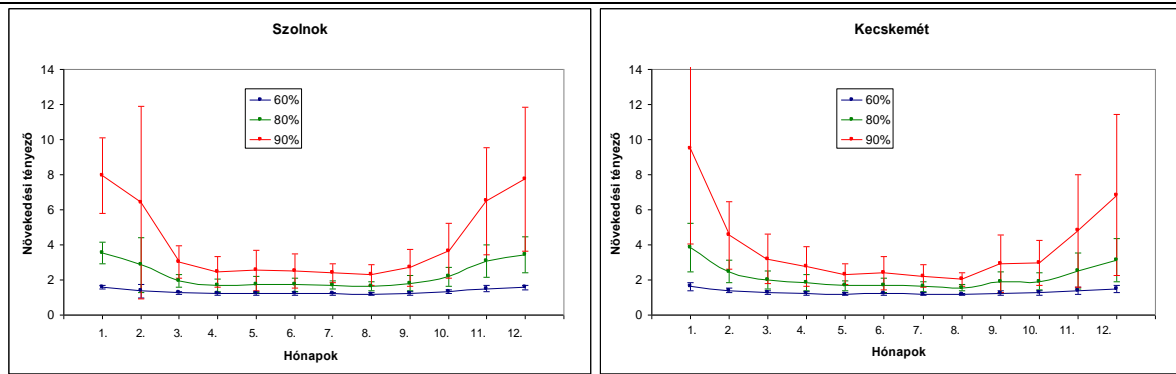
4. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Budapest-Lőrincen és a Liszt Ferenc Repülőtéren 1995-2002

Felvetődik a kérdés, hogy a leírt jelenség általánosnak tekinthető-e. Ennek érdekében további mérőállomások látótávolság és relatív nedvesség adatait dolgoztuk fel az 1995. és 2002. közötti időszakra vonatkozóan. Elsőként a szintén Budapesten fekvő Liszt Ferenc Repülőtér adatsorai alapján számolt növekedési tényezőt vizsgáltuk. A szezonális jelleg itt is megfigyelhető, de az értékek jóval kisebbek a Lőrincen mérteknél (4. ábra). Ennek oka minden bizonnyal a speciális helyi forrás (repülés) miatt az aeroszol eltérő kémiai összetételében, a kevésbé higroszkópos szerves vegyületek nagyobb arányában keresendő. Ezt alátámasztja az a tény is, hogy Veszprém és Szentkirályszabadja esetében is hasonló különbségeket találtunk, bár kisebb mértékűt (5. ábra).



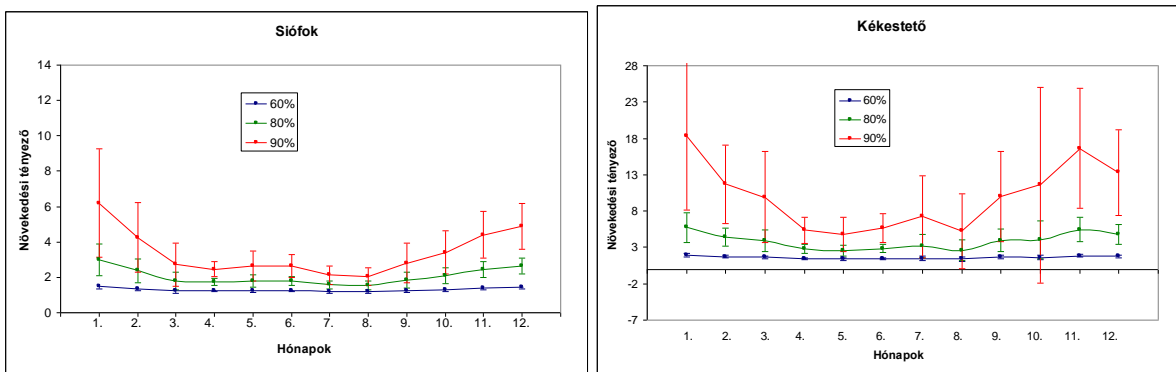
5. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Veszprémben és Szentkirályszabadján 1995-2002

Szolnok és Kecskemét – a fővároshoz képest kisebb – városi területet reprezentálják. Ezen állomások adatsorainál is megfigyelhető a határozott éves menet (6. ábra). A budapest-lőrinc és a veszprémi adatokhoz képest, Szolnokon és Kecskeméten a higroszkópos növekedésben megfigyelt minimum értékek nem kizárólag csak a nyári, hanem a tavaszi hónapokra is jellemzőek. Mindkét városnál jelentkezhet a homokos alföldi környezet (durva aeroszol részecskék) hatása, valamint a higroszkópos növekedést befolyásolhatják a repülőterek, mint a speciális szennyezőanyag forrásai is.



6. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Szolnokon és Kecskeméten 1995-2002

Eddigi vizsgálataink még két állomásra terjedtek ki (7. ábra). Az egyik a Balaton partján fekvő Siófok, a másik hazánk legmagasabb pontja a Kékestető. Az előbbinél a nagy összefüggő vízfelszín hatásával kell számolni. Minden bizonnyal ennek köszönhető a higroszkópos növekedés téli maximuma és nyári minimuma közötti kisebb eltérés. Kékestető a városi és ipari szennyezőanyag forrásoktól távol helyezkedik el, és meg kell említeni, hogy esetenként kiemelkedik a felszíni határrétegből. Az éves menetet tekintve itt figyelhetjük meg a legmagasabb értékeket. Nemcsak a téli maximumok szembetűnően magasak, hanem a nyári minimumok is. A higroszkópos növekedés mértéke nyáron megközelíti azt az értéket, amit a városi környezetben a téli időszakban tapasztaltunk.



7. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Siófokon és a Kékestetőn 1995-2002

A felsorolt eredmények azt mutatják, hogy nemcsak az aeroszol mennyisége, azaz a részecskék tömegkoncentrációja határozza meg az extinkciós együttható alakulását. A levegő nedvességtartalma és az aeroszol részecskék kémiai összetétele – egymással szoros összefüggésben – jelentősen befolyásolja az aeroszol fénygyengítő hatását.

Az eddigi vizsgálatok alapján elmondhatjuk, hogy

- A látótávolság (extinkciós együttható) alakulását elsősorban az aeroszol koncentrációjának változása idézi elő, de az aeroszol részecskék higroszkóposága miatt a légkör nedvességtartalma is befolyásolja.
- Az aeroszol részecskék mennyiségén túl, kémiai összetételüknek is fontos szerepe van, amely hatással van a higroszkópos növekedési tényező értékére.
- Az extinkciós együttható higroszkópos növekedésében jelentős évszakos eltérés mutatkozik, amely az aeroszol kémiai összetételének változásával magyarázható (vízben oldódó frakció – nitrátok)
- A higroszkópos növekedési tényező éves menetében megfigyelhető szezonális eltérés mindennél jelentkezik, de az értékekben jelentős eltérések mutatkozhatnak, melynek háttérben az eltérő kémiai összetétel, a különböző környezeti feltételek, a speciális helyi források állhatnak.

### Köszönetnyilvánítás

A munkát a TÁMOP 4.2.2/B-10/1-2010-0025 projektje támogatta.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PÁRKÁNYI Dénes: A látótávolság változása a relatív nedvesség, valamint a légköri aeroszol részecskék kémiai összetételének függvényében. Diplomadolgozat. Pannon Egyetem, Veszprém, 2010.
- [2] MOLNÁR Á., GÁCSER V.: Látótávolság és légszennyezettség. Repüléstudományi Közlemények Különszám 2011. Április 15.
- [3] MÉSZÁROS Ernő: Levegőkémia. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1997
- [4] CHARLSON, R.J., SCHWARTZ, S.E., HALES, J.M., CESS, R.D., COAKLEY, J.A., HANSEN, J.E., HOFMANN, D.J.: Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*. 1992/255, 423-430.
- [5] MALM, W.C., KREIDENWEIS, S.M.: The effects of models of aerosol hygroscopicity on the apportionment of extinction. *Atmospheric Environment*, 1997/31, 1965-1976.
- [6] LIU, X., CHENG, Y., ZHANG, Y., JUNG, J., SUGIMOTO, N., CHANG, S., KIM, Y., FAN, S. and ZENG, L.: Influences of relative humidity and particle chemical composition on aerosol scattering properties during the 2006 PRD campaign. *Atmospheric Environment*, 2008/42, 1525-1536.
- [7] <http://ols.nndc.noaa.gov>
- [8] DEBELL, L.J., GEBHART, K.A., HAND, J.L., MALM, W.C., PITCHFORD, M.L., SCHICHEL, B.A., WHITE, W.H. IMPROVE (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments): Spatial and Seasonal Patterns and Temporal Variability of Haze and its Constituents in the United States. Report IV CIRA Report ISSN: 0737-5352-74, Colorado State Univ., Fort Collins, 2006.
- [9] HORVATH, H.: Effect on Visibility, Weather and Climate. In: *Atmospheric Acidity Sources, Consequences and Abatement* (Eds: Radojvic, M. and Harrison R.M), Elsevier Applied Science London and New York, 1992.
- [10] ZHOU, J., SWIETLICKI, E., BERG, O.H., AALTO, P.P., HÄMERI, K., NILSSON, E.D., LECK, C.: Hygroscopic properties of aerosol particles over Arctic Ocean during summer. *Journal of Geophysical Research*, 2001/106, 32111-32123,



Paulik Beáta<sup>1</sup> – Dr. Wantuch Ferenc<sup>2</sup> – Ozoli Zoltán<sup>3</sup>

## PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI JÁRMŰVEK METEOROLÓGIAI ÜZEMELTETÉSE<sup>4</sup>

*A pilóta nélküli légi jármű rendszerek széleskörű elterjedése szükségessé tette azok folyamatos fejlesztését. Ezen rendszerek biztonságos működéséhez nagyon fontos az időjárás pontos számszerű ismerete a repülés különböző szakaszaiban. A legfontosabb feladatok egyike, hogy egy előre megtervezett, időjárás szempontjából legbiztonságosabb repülési útvonalat tudjunk meghatározni. Az UAV<sup>5</sup> rendszerekben alkalmazott repülőgépek jellegétől függően változhatnak azok az időjárási minimumok, melyekben a repülőgép még alkalmazható. A feladat elvégzése érdekében egy döntéstámogató rendszer lett kifejlesztve. Egy esettanulmány keretében egy adott repülési feladat végrehajtásakor fennálló időjárás, illetve az időjárás paramétereinek megvizsgálása és kiértékelése után a repülőgép kezelője megállapíthatja, hogy az adott repülési feladat biztonságosan végrehajtható e.*

### UNMANNED AERIAL VEHICLES METEOROLOGICAL OPERATION

*The unmanned aerial vehicles systems necessitated the widespread distribution of their persistent development. Safe operation of these systems is very important for accurate numerical of the weather knowledge of the different sections of the flying. One of the most important tasks that one forward planned, in terms of weather we can determine the safest flight path. The UAV systems used in character of airplanes are may change depending on the weather minimum, in which the airplane is used. The task of a decision support system was developed. A case study of an aviation weather prevailing at the task, and after assess and evaluate weather parameter, the aircraft operator may establish that the aircraft safe to do this task.*

## PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI JÁRMŰ RENDSZEREK

UAV, azaz pilóta nélküli légi jármű minden olyan repülő eszköz, mely fedélzetén nincs a repülőgépet irányító szakszemélyzet, az irányítást valamilyen távvezérlő rendszer segítségével oldja meg a földi személyzet. [1][2] Az UAV-k lehetnek egyszer használatosak, vagy többször felhasználhatóak, és a feladatuktól függően különböző hasznos terhelést pl. felderítő eszközöket, fegyvereket is hordozhatnak. Ugyanakkor az UAV-k csak egy alrendszere egy összetett rendszernek, mely az UAS<sup>6</sup>, azaz pilóta nélküli légi jármű rendszer nevet viseli (a légi jármű és annak működését biztosító rendszerek), ebből következően az UAV megnevezést csak abban az esetben használhatjuk, ha magáról a repülő eszközzel beszélünk, mint repülő szerkezet vonatkozásában. [3]

<sup>1</sup> ELTE Meteorológiai Tanszék, paulikbeja@gmail.com

<sup>2</sup> Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatal, wantuch.ferenc@nkh.gov.hu

<sup>3</sup> Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatal, ozoli.zoltan@nkh.gov.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>5</sup> UAV: Unmanned Aerial/Air Vehicle – Pilóta nélküli légi jármű

<sup>6</sup> UAS: Unmanned Aircraft System – Pilóta nélküli légi jármű rendszer

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kapnak ezek az eszközök, melyek elsősorban csökkentik az emberi életet és egészséget kockáztató katonai, polgári és katasztrófavédelmi feladatokat. [1][4] Tömegük a néhány kilogrammostól több tonnásig is terjedhet, de manapság már a néhány gramm, akár rovar méretű repülőeszközök alkalmazása sem lehetetlen feladat. Meghajtó rendszerüket tekintve lehet elektromos, belső égésű dugattyús motoros valamint gázturbinás. [5] Valamennyi pilóta nélküli légi jármű rendszer két fő alrendszerből tevődik össze: egy földi és egy légi alrendszer. Maga a földi alrendszer feladata a repülési útvonal és repülési feladat megtervezése, a repülés irányítása és a beérkező adatok feldolgozása, majd kiértékelése. Magába foglalja a számítógép alapú képfeldolgozó rendszert, egy irányító eszközt a manuális irányításhoz, továbbá ide tartozik a kommunikációs, az indító és a leszállító alrendszer is. Természetesen számos más berendezés is szükséges a megfelelő földi állomás működéséhez, mint például a tápáramforrások, ellenőrző és karbantartó berendezések. [6] [7] A légi alrendszer a pilóta nélküli légi jármű és a feladatnak megfelelő hasznos teherből tevődik össze. Maga a repülőeszköz a sárkányszerkezetből áll, mely magába foglalja a géptörzset, a szárnyakat, a vízszintes és függőleges irányfelületeket, és a repülőeszköz típusától függően, a futóművet. A géptörzsben található a hajtómű, az elektromos berendezések, a hasznos teher és az adatterminál, valamint az integrált repülési irányító rendszer is. [3] Hasznos teher alatt értjük az UAV alaprendeltetését megvalósító eszközöket, pontosabban a szenzorokat és radarokat, rádióelektronikai felderítő és navigációs berendezéseket. [7]

## REPÜLÉS VÉGREHAJTÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ METEOROLÓGIAI PARAMÉTEREK

Mint korábban már említettem a repülőgépek az útjuk során kiemelkedően fontos jelentősége van a biztonságának. Feladatuk végrehajtását mindenekelőtt az időjárási paraméterekben bekövetkező kisebb változások is jelentősen meghatározzák, akár akadályozzák. Ilyen paraméterek többek között a szél sebessége és iránya, a felhőzet mennyisége, a látástávolság, a zivatar zónák, melyekkel együtt jelentkezhethet, de önállóan is felléphet a turbulencia és a jegesedés, melyek meggátolhatják a repülés sikeres végrehajtást. [8]

Jegesedés tekintetében a kisebb teljesítményű gépek esetében elsősorban a jég súlya a meghatározó, egyébként a jégbevonat rontja a gépek aerodinamikai tulajdonságát. Jégbevonat keletkezhet a légáramlásnak kitett részekben, mely következtében növekedhet az ellenállás az érdesebb felszín miatt, illetve a jeges felszín felett megváltozó áramlási viszonyok során a nyomás eloszlás módosulása miatt csökkenhet a felhajtó erő nagysága.

A szél mezeje térben és időben rendezetlen, s ezt a rendezetlen áramlást nevezzük turbulenciának. A teljes troposzférában, az alsó sztratoszférában is felléphet, de leggyakrabban a 2 km-es szint alatt és a 6 km-es szint felett fordul elő. A repülőgép a turbulenciára rázkódással, dobálással reagál. Némelyik nagyobb léptékű mozgást finomabb vezetési technikával ellensúlyozni lehet, de vannak olyanok, melyek jelentős mértékben befolyásolhatják a repülést, pl. zivatarok esetében.

Szél sebességének és irányának változása, azaz a szélnyírásnak a szélesebb-vektor kis távolságon történő nagyságának és/vagy irányának megváltozását értjük, mely a légkör bármely részén előfordulhat. Repülési szempontból akkor van jelentősége, ha olyan erős, hogy a gépet hirtelen eltéríti a repülési pályájáról és a kormányozhatóságot lehetetlenné teszi. Maga a



szélnyírás turbulens mozgást idéz elő két réteg határán, ha egy bizonyos nagyságrendet elér, pl. zivatarfelhőben. Szembeszél-szélnyírás esetén a gép levegőhöz viszonyított sebessége nő, ezért emelkedni kezd, hátszél-szélnyírás esetén azonban csökken a sebessége, ezért magasságot veszíthet. Oldalszél-szélnyírás során a gép jobbra vagy balra sodródhat el, le- és feláramlási szélnyírásakor a gép hirtelen süllyedhet vagy emelkedhet.

Zivatar hatása magába foglalja a turbulenciát, jegesedést és szélnyírás kockázatát is. Így külön nem ejtenék szót róla.

A felhőzet egyrészt akadályozza az informálódást, megnehezíti a le- illetve felszállást, de egyes felhőfajtákban akár jegesedés vagy turbulencia is előfordulhat (Cumulonimbus, Cumulus congestus). A felhőben lévő vízcseppek és jégkristályok erősen korlátozzák a látási viszonyokat. A felhőben való repülés annál veszélyesebb minél alacsonyabban vannak, különösen hegyvidéki területek esetében (Stratus). [9][10]

### **Feladat leírása**

Munkánk folyamán egy olyan szoftvert szeretnénk kifejleszteni, amely alkalmas arra, hogy a pilóta nélküli légi járművek különböző alkalmazásokor konkrét operatív gyakorlati segítséget adjon a felhasználói személyzet részére. Az ilyen típusú szoftver jövőbeli alkalmazása biztonságosabbá tenné például a katonai feladatok végrehajtását.

Feladatunk során a meteorológiai állapotváltozók tér és időbeli eloszlásának ismeretében kidolgozásra került egy optimum számítási eljárás, mely a gráfelmélet alapján egy minimalizációs módszer. Az eljárás során megadható az időjárás tekintetében egy lehetséges optimális repülési pálya. Ennek érdekében több C program nyelven íródott kód lett megírva, mely képes a grib formátumban megadott adatokat fogadni, és amely segítségével különböző lekérdezésekkel a számunkra szükséges meteorológia adatokat kiolvastva és általunk megadott számítási képleteket alkalmazva felépíti az optimális útvonalat, ezáltal megadva a feladat végrehajthatóságát. A feladat végrehajtása érdekében az ELTE-n futó WRF numerikus modell kimenő adatait használtuk fel.

A WRF modell (Weather Research and Forecasting Model) egy mezoskálájú időjárás előrejelző és adatasszimilációs rendszer (kezdeti feltételek előállítás), mely kiválóan alkalmas a légköri folyamatok numerikus modellezésére. Magát a modellt az Egyesült Államokban dolgozták ki, több egyetem közös munkájának eredményeképpen született meg. Két dinamikai megoldó felülettel rendelkezik, ezek egyike a NCAR MMM<sup>7</sup> által lett kifejlesztve, ez a WRF ARW<sup>8</sup>, illetve a másikat a NOAA NCEP<sup>9</sup> fejlesztette ki, ez pedig a WRF NMM<sup>10</sup>. Előbbit elsősorban kutatásokra, utóbbit pedig operatív célokra alkalmazzák. Jelen munkánkban a WRF ARW rendszert alkalmaztuk.

Fő programegységei: WRF előfeldolgozó rendszer, WRF 3DVAR (3D adatasszimilációs) rendszer, ARW megoldó szegmens, végül az utófeldolgozó rendszer, mely a modell output netCDF fájljait dolgozza fel és akár grafikusán is megjeleníthetővé teszi számunkra.

<sup>7</sup>Center for Atmospheric Research Mesoscale and Microscale Meteorology Division

<sup>8</sup>Advanced Research WRF

<sup>9</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers for Environmental Prediction

<sup>10</sup>Nonhydrostatic Mesoscale Model

A WRF V3.3 modell futtatása naponta négyszer, főterminusokban történik az ELTE Meteorológiai Tanszék szerverén. Négy processzor dolgozik folyamatosan a futtatás ideje alatt. A modell kezdeti feltételeit 0.5°x0.5°-os felbontású GFS (Global Forecasting System) mezők adják. Ezek a mezők 180 órára állnak rendelkezésre az analízis időpontjától számítva. 00 UTC-s futtatás esetében a GFS adatok letöltése helyi idő szerint 5.30-kor indul és körülbelül fél óráig tart. Ezt követően az előfeldolgozó rendszer veszi át a szerepet, mely körülbelül 20 percet igényel. Ha ezzel végezett, következik a leghosszabb ideig tartó munkafolyamat, a modellintegrálás, 0-96 óráig, mely nem sokkal kevesebb, mint 2 órát vesz igénybe. Végül az utófeldolgozás pár perces munka után elvégzi feladatát, amikor is a modellváltozókön kívüli egyéb változók is kiszámításra kerülnek, illetve grafikus formában is megjeleníthetővé válnak az adatok. [11][12]

Tesztelés fázisában 2010. Augusztus 13. 00Z időszakra vonatkozó 60 perces időlépcsővel rendelkező, Szeged körüli 20 km-es sugarú körből származó meteorológiai állapotjelzőket dolgoztunk. Földrajzi koordináták alapján É.sz. 46.31°- 46.4855° és K.h. 19.91°- 20.0855°, ahol a rácsávolság 0.0045 fok volt, mely 1 km-nek felel meg. Összesen 43 z modellszinttel és 17 modellváltozóval dolgoztunk. A z szintek magasságát a tengerszinthez viszonyítottuk.

VÁLTOZÓ	SZINT	VÁLTOZÓ MEGNEVEZÉSE, MÉRTÉKEGYSÉGE
U	43	X IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
V	43	Y IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
W	43	Z IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
V10	1	10 M-EN Y IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
WSPD	43	SZÉLSEBESSÉG (M/S)
WDIR	43	SZÉLIRÁNY (°)
WS10	1	10 M-EN SZÉLSEBESSÉG (M/S)
WD10	1	10 M-EN SZÉLIRÁNY (°)
TC	43	HŐMÉRSÉKLET (°C)
TD	43	HARMATPONT (°C)
TD2	1	2 M-EN HARMATPONT (°C)
HEIGHT	43	MODELL MAGASSÁGI SZINTEK (KM)
SLP	1	TENGERSZINT FELETTI LÉGNYOMÁS (HPA)
PBLH	1	PLANETÁRIS HATÁRRÉTEG MAGASSÁGA (M)
CLFLO	1	ALACSONY SZINTŰ FELHŐZET (%)
CLFMI	1	KÖZEPES SZINTŰ FELHŐZET (%)
CLFHI	1	MAGAS SZINTŰ FELHŐZET (%)

1. táblázat Modellváltozók

### Optimális út kiszámítása

A feladatunk végrehajtásához a gráfelmélet elvét használtuk fel. Ugyanis a Bellman-féle optimum elv kimondja, hogy ha a k-fokozatú rendszer j állapotához tartozó döntéssorozat optimális, akkor ennek első (k-1) eleme is optimális döntéssorozat a (k-1) fokozatú rendszernek arra az állapotára vonatkozóan, amelyet a k-fokozatú rendszer állapota és a k-adik fokozatban

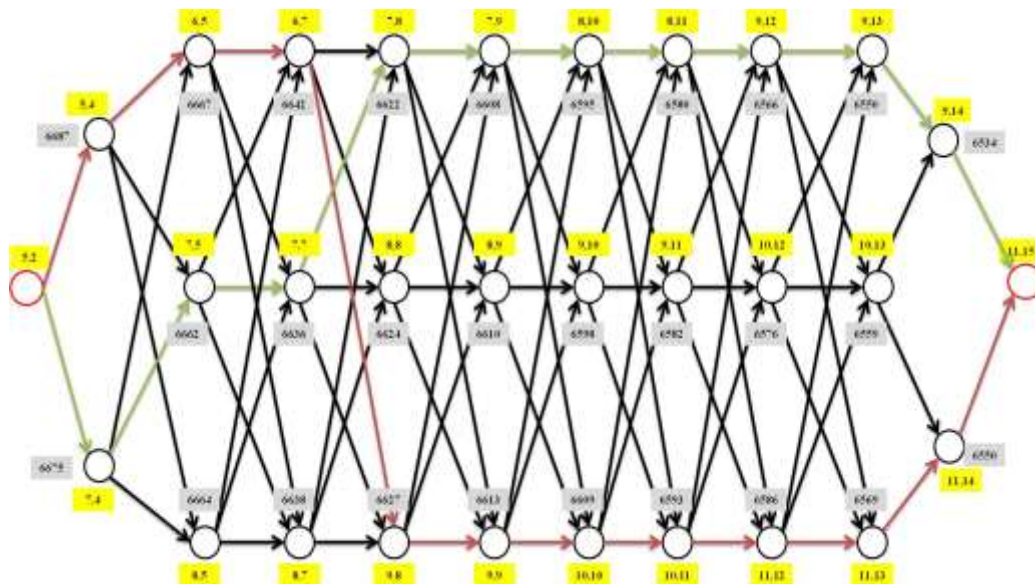


hozott döntés határoz meg. [13] A tétel azt mondja ki, hogy egy optimális döntéssorozat minden egyes lépése szintén optimális. Ennek alapján egy eljárást dolgoztunk ki az optimális útvonal meghatározására és a mi esetünkre vonatkozólag felépítettünk egy gráfot.

### **Optimális útvonal előállítására szolgáló program felépítése**

Először a program bekéri a felhasználótól a kezdő és végpont koordinátákat (hosszúsági és szélességi fokokat), ezek a lambda és fi adatok. Ellenőrzés képen, hogy léteznek e a megadott értékek, felépít egy 40x40-es mátrixot, mely középpontját mi adtuk meg (K.h. 20° és É.sz. 46.4°), és az értékek közti távolság 0.0045 rácsfelbontásnak felel meg. Ha közte van a megadott két pont értéke, akkor folytatódik a program, ellenkező esetben jelez a felhasználónak és új adatot kér be.

Jelenlegi tesztfuttatás a szélesség értékekre van elkészítve. Kezdő pont földrajzi koordinátái K.h. 19.928 és É.sz. 46.3145, végpont földrajzi koordinátái K.h. 19.955 és É.sz. 46.373. Munkánk során a WRF modellből kiolvasott értékeket használjuk fel, melyeket szintén 40x40-es mátrixban tárolunk, és igazodik a földrajzi koordinátákhoz. Tehát a program megnyitja ezt a fájlt és ebből olvassa ki a megfelelő értékeket. A gráf felépítésének menete a következő képen történik. Először a kezdő és végpontot megfelelő koordinátákhoz párosítja (melyik x, y koordinátának felelnek meg a 40x40-es mátrixban, azaz hányadik oszlop és sorban helyezkednek el a földrajzi koordináták), és megállapítja a két pont közötti távolságot, mely segítségével a köztük lévő osztáspontok koordinátáit is ki tudjuk számítani azaz, hogy hány szakaszra osztható fel a köztük lévő távolság, ez fogja megadni a gerincelemeket. A gráf első és utolsó fokozatában 2-2 db koordináta pont, a többiben pedig 3-3 db koordináta pont található. Utóbbit, vagyis hogy hány darab elem legyen az egyes fokozatokban, mi határozhatjuk meg.



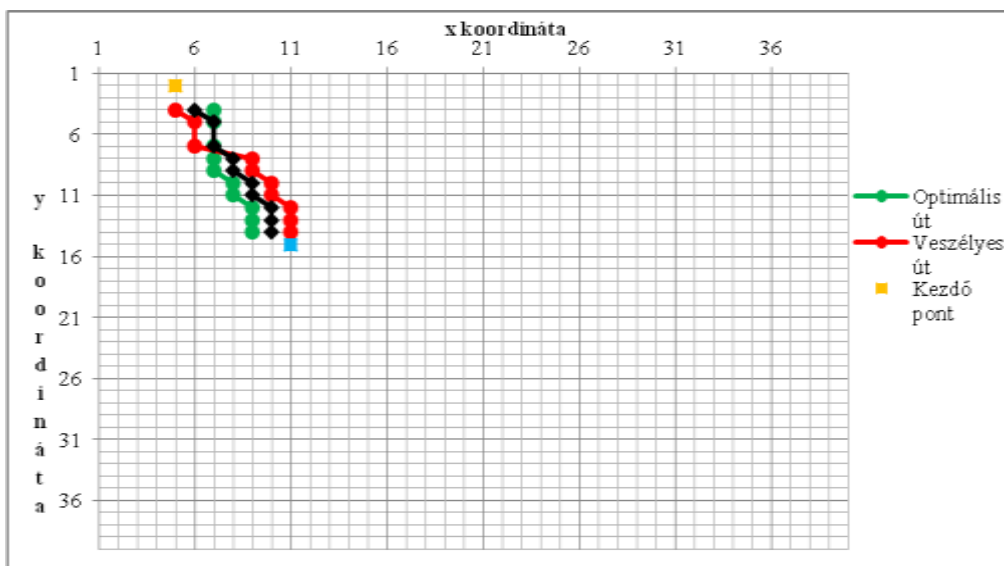
1. ábra Gráf felépítése. A körök jelölik a gráf pontjait, a sárga négyzetek a megfelelő x,y koordinátákat, a szürke négyzetek a súly értékeket, a zöld nyilak az optimális útvonalat, a piros nyilak a veszélyes útvonalat, a fekete nyilak a további lehetséges útvonalat.

A gráf felépítése során ellenőrzésre kerül a koordináták egyezősége, ugyanis ha talál egyező koordinátákat az eljárás során, akkor azt kihagyja és folytatódik tovább az építés úgy, hogy a gerinc elemek első vagy második koordinátájához hozzáad, illetve kivon 1-et, ezáltal a gerinc elem két szomszédos eleme is meghatározásra kerül. Ha megvannak a gráf koordinátái, akkor a megfelelő

koordinátákhoz megkeresi a szélesség adatokból a hozzá tartozó értéket, és az általunk megadott súlyozás szerinti értéket adja át az adott koordináta pontnak. Jelenleg a súlyozást, hogy észrevehetőbb különbségeket lássunk, mivel elég kicsik az eltérések az egyes szélesség értékek között, ezért megnéztük, hogy milyen minimum illetve maximum érték található köztük, és ez alapján állítottunk fel egy súlyozási kategóriát. Amennyiben egy adott értéket meghalad a szélesség értéke és nincs mód más irányú repülésre, akkor jelez a program és egészében veszélyesnek ítéli a repülés végrehajtását, így nem ad optimális útvonalat sem. Abban az esetben, ha nincs veszélyes érték, az optimális útvonal kerül kiszámításra. Ennek során a program megnézi, hogy az indulási pontot követően a következő pontokban melyik a legkisebb súlyozott értékű koordináta pont és abba megy tovább. Azonban, ha ugyan olyan értéket talál, akkor az indulást követő pontoknál a legelső (felső) ponton halad tovább, a továbbiakban talált ugyanolyan értékek esetében pedig, az előző pont alapján dönti el a további haladás irányát. Vagyis ha az előző pontban a 3. ponton haladt, és a következő döntés során azt tapasztalta, hogy mind a 3 pontban ugyanolyan súlyértékek vannak, akkor újra a 3. pontot fogja választani. Végül eljutunk a végpontba.

A program során nem csak az optimális út kerül kiíratásra, hanem a legveszélyesebb útvonal is, ehhez éppen az ellenkezőjét veszi figyelembe, azaz nem a legkisebb súlyértékekkel, hanem a legnagyobbakkal számol.

Minden szükséges információ txt fájlba kiíratásra kerül. Azaz a gráf pontok, gerincelemek, optimális útvonal koordinátái, a veszélyes útvonal koordinátái, illetve egy külön táblázatba pedig az optimális útvonalhoz tartozó földrajzi koordináták és szélesség értékek is, valamint abban az esetben, ha toronyiránt menne a gép, milyen értékek tartoznak hozzá. Az utak koordinátáinak segítségével grafikusán is megjeleníthető az útvonal, melyet Excel táblázat kezelővel hajtottunk végre. Ezt a futtatást különböző magassági szintekre el lehet végezni.



2. ábra Az optimális, a veszélyes és a toronyiránt vezető útvonalak.

optimalisut\_3000.txt - Jegyzetfőm

Fájl Szerkesztés Formátum Nézet Súgó

Egy optimális útvonal:

Lambda	Fi	3000 m
19.928000	46.314500	9.453330 m/s
19.923500	46.337000	9.415160 m/s
19.928000	46.337000	9.400960 m/s
19.937000	46.337000	9.371900 m/s
19.941500	46.337000	9.356710 m/s
19.946000	46.337000	9.341360 m/s
19.950500	46.341500	9.326820 m/s
19.955000	46.341500	9.310080 m/s
19.959500	46.346000	9.294620 m/s
19.964000	46.346000	9.276910 m/s
19.968500	46.346000	9.258470 m/s
19.955000	46.373000	9.255560 m/s

Toronyirányban:

Lambda	Fi	3000 m
19.928000	46.314500	9.453330 m/s
19.923500	46.332500	9.420600 m/s
19.928000	46.337000	9.400960 m/s
19.937000	46.337000	9.371900 m/s
19.941500	46.341500	9.358410 m/s
19.946000	46.341500	9.342610 m/s
19.950500	46.346000	9.329920 m/s
19.955000	46.346000	9.312330 m/s
19.959500	46.350500	9.305360 m/s
19.964000	46.350500	9.286930 m/s
19.968500	46.350500	9.267250 m/s
19.955000	46.373000	9.255560 m/s

3. ábra Optimális útvonal földrajzi koordinátái és a hozzá tartozó szélesség értékek 3000 méteres szintre.

### **Meteorológiai paraméterek megadása**

A WRF modell segítségével kapott adatokat a következő képen használtuk fel a program segítségével. Minden paraméter fájl egy 40x40-es mátrixban található, mely a földrajzi koordinátáknak megfelelően lett kiolvasva a modell fájlból.

Először is meghatározzuk, hogy mely adatokra van szükségünk a számítások során és a megfelelő fájlokat megadjuk a programnak. Mi több magassági szint adatait használtuk fel: 10 m-es szélesség és szélirány, 100 m, 300 m, 600 m, 900 m, 1500 m, 3000 m, és 4000 m szélesség, szélirány, vertikális sebesség, hőmérséklet, valamint harmatpont és magasság értékek, 5500 m-es hőmérséklet, alacsony, közepes és magas szintű felhőzet mennyisége, tengerszint feletti légnyomás értéke.

Ez a program is, először bekéri a felhasználótól többek között a kimenő fájl nevét, az adott időszakra szóló értékek dátumát (év, hónap, nap, óra), a földrajzi koordinátákat és a repülőgép szárnyfesztségét (későbbiekben a turbulencia számításához).

### **Számítási műveletek**

A tengerszint feletti légnyomás értéke tájékoztató jelleggel kerül megadásra a fejlécbe a dátum és földrajzi koordináták mellett. Ezt követően a felsorolt magassági szintekhez tartozó megfelelő értékeket kiolvasva kiírásra kerül egy táblázat formájában a txt fájlba. Hasonló képen jártunk el, mint korábban a gráf során. Itt is 40x40-es mátrixból a korábban a földrajzi koordinátákhoz társított x, y koordináták alapján kikeresi a megfelelő értékeket és kiírja azokat. A szintek után következő táblázat a felhőzet mennyiségéről és alapjáról tájékoztató. A

fájlból kiolvasott 0 és 1 közötti értékeket társítja a következő öt kategóriákhoz: SKC – 0 okta (0 érték), FEW – 1-2 okta, SCT – 3-4 okta, BKN – 5-7 okta és OVC – 8 okta (1-es érték). Felhőalap számításra is sor került, mégpedig a Ferrel formula használatával, mely felhasználja a felszín hőmérsékleti és harmatponti értékét: [14]

$$(T - TD) \times 125 \quad (1)$$

ha van alacsony szintű felhőzet, akkor oda írja az értéket, ha nincs akkor a következő szintű mellé. A további fejlesztések során ez a modul kicserélhető akár összetett felhőfizikai modellel is.

Ezután a veszélyes időjárási jelenségek előfordulásának megbecslése a fő feladat. Ezeknek a repülésre veszélyes időjárási jelenségeknek kiszámításához első közelítésben könnyen programozható képleteket alkalmaztunk, de természetesen ezek később könnyen kicserélhetőek összetettebb modellekkel a jobb és pontosabb eredmények érdekében.

Először a zivatar valószínűségével kezdtünk, melyhez első közelítésben a K index tűnt a leghasználhatóbbnak. [15]

$$KI = (T850 - T500) + TD850 - (T700 - TD700) \quad (2)$$

A képletben a 850 hPa, 500 hPa és 700 hPa-os szint hőmérséklet, illetve 700 hPa és 850 hPa-os szint harmatpontjának értékei szerepelnek. Ha a KI <15 - Nem várható zivatar, 15-21 között az előfordulás valószínűsége kisebb, mint 20%, 21-26 között 20-40%, 26-31 között 40-60%, 31-36 között 60-80% és 36-41 között 80-90% a zivatar valószínűsége, ha pedig nagyobb, mint 41 a KI értéke, akkor közel 100%, hogy heves zivatar várható. [16]

A látástávolság kiértékelése a FOGSI index kiszámításával történik. Maga a FOGSI index egyébként a látástávolság és a különböző fizikai mennyiségek közötti kapcsolatot írja le. [17]

$$FOGSI = 2 \times |T_{fss} - T850| + 2 \times (T1000 - TD1000) + 2 \times W850 \quad (4)$$

ahol

- $T_{fss}$  a felszíni hőmérséklet (°C);
- $T850$  a 850 hPa-os szint hőmérséklete (°C);
- $T1000$  és  $TD1000$  az 1000 hPa-os szint hőmérséklete és harmatpontja (°C);
- $W850$  a 850 hPa-os szint szélessége (m/s).

A FOGSI index azonban önmagában nem, csak igen összetett döntési eljárások egyidejű alkalmazásával alkalmas a látástávolság megbecsülésére. Mi ezt az összetett többszörös döntési fákot alkalmazó algoritmust használtuk fel.

Ezt követi a jegesedés valószínűségének megállapítása. Ha van jegesedés, akkor milyen magassági szinten várható. Ennek során az úgynevezett *hazai kombinált módszert* alkalmaztuk, azaz kiszámítjuk a harmatpont-depressziót és megszorozzuk -8-cal. Ha az így kapott érték nagyobb vagy egyenlő a réteg hőmérsékletével, akkor ott jegesedésre lehet számítani. Ezen kívül, ha a réteg hőmérséklete kisebb, mint -15 °C, de nagyobb, mint 0,01 °C és a relatív nedvesség értéke eléri vagy meghaladja a 85%-ot, akkor is riaszt. Ez minden magassági szintre kiszámítható, és csak annak a magasságnak az értéke kerül kiíratásra, amelyiken ezek a feltételek teljesültek, ha

egyiken sem tapasztalható jegesedés, akkor jegesedés nem várható jelzés adódik. [18]

Végül, de nem utolsó sorban a turbulencia számítása. Ez meglehetősen nehéz feladat, mert pontos számítási mechanizmus még nem került előállításra. Talán az egyik könnyen programozható képlet a Reynolds szám meghatározása segítségével történhet. A képlet során felhasználjuk az adott szint hőmérsékleti értékét, valamint a különböző magasság értékekhez tartozó nyomási értékeket is, mindezt a kinematikai viszkozitás meghatározásához. Továbbá szükséges még az áramlás sebessége és a szárnyfesztávolság mérete is. [19] [20]

$$Re = \frac{v \times l}{\vartheta} \quad (5)$$

ahol

- $v$  az áramlás sebesség (m/s);
- $l$  szárnyfesztávolság (m);
- $\vartheta$  a kinematikai viszkozitás ( $m^2/s$ ), kiszámítása a következő képen történik:

$$\vartheta_{T,p} = \vartheta_0 \times \left( \frac{p_0 \times (T_0 + C)}{p \times (T + C)} \right) \times \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

ahol

- $\vartheta_0$  referencia szint kinematikai viszkozitása, értéke  $1,47 \times 10^{-5} m^2/s$ ;
- $p_0$  referencia szint nyomása, értéke 101325 Pa;
- $T_0$  referencia szint hőmérséklete, értéke 288,15 K;
- $C$  állandó, 120 K;
- $p$  adott szint nyomása (Pa);
- $T$  adott szint hőmérséklete (K).

Ezzel kapunk egy értéket, mely ha meghalad egy kritikus számot, akkor jelez, hogy milyen nyomási szinten várható turbulencia. Ez a kritikus érték önkényesen lett megadva, sík felületek esetében 300 000 és 500 000 között változik, mi köztes értéket, azaz 400 000-et adtunk meg. [21]

Legutoljára a szélnyírás mértéke került meghatározásra a cosinus tétel alkalmazásával, mely két szélsősebesség vektor nagyságának értéke és a közbe zárt szögükkel a harmadik szélsősebesség vektor nagysága is megadható, azaz egyfajta szélnyírás-vektorok különbsége segítségével.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \times a \times b \times \cos \alpha \quad (6)$$

Végül egységesen mindez így mutat táblázat formájában:

A\_pont.txt - Jegyzetfőmód

Fájl Szerkesztés Formátum Nézet Súgó

Dátum: 2010.08.13.19Z      LON: 19.9280      LAT: 46.3145      Nyomás: 1012.970000

Szint ( m )	Szélsseb. ( m/s )	Szélirány ( ° )	w ( m/s )	T ( °C )	Td ( °C )
Talaj(10 m)	1.630130	108.713000	-	-	-
100 m	3.331620	108.726000	-0.001406	29.926200	19.853900
300 m	5.462680	130.346000	0.000927	30.268400	17.273200
600 m	7.047070	131.680000	0.013011	28.028300	15.849100
900 m	7.930450	139.897000	0.008117	23.805100	14.679400
1500 m	11.931300	153.102000	0.033309	19.122300	13.227800
3000 m	11.125300	191.014000	-0.039456	7.158800	1.167780
4000 m	11.856900	199.216000	-0.054582	-0.293184	-11.882400

Felhőzet	Mennyiség	Alap
alacsony	SKC - 0.000000	
kozepes	SKC - 0.000000	
nagas	SKC - 0.000000	

Veszélyes jelenségek

Zivatar: KI = 36.240890 - Intenzív zivataraktivitás valószínűsége 80-90 %  
 Látástávolság: 20.6 km  
 Jegesedés: Nem várható  
 Turbulencia: Turbulencia várható 1000 hPa-on, 970 hPa-on, 940 hPa-on, 910 hPa-on, 850 hPa-on, 700 hPa-on, 600 hPa-on  
 Szélnyírás mértéke: 11.983472 m/s

4. ábra. Kezdőpontban lévő meteorológiai paraméterek

## Összegzés, jövőbeli célok

A napjainkban egyre gyakrabban használatos pilóta nélküli légi járművek esetében a meteorológiai állapotjelzők figyelembe vételével kidolgozható egy szoftverrendszer, mely javaslatot tesz a földi irányító személyzet számára a repülési útvonal során fellépő időjárási minimumok alapján kidolgozott optimális és veszélyes útvonalról.

A jövőben figyelembe fogjuk venni a jegesedés, a látástávolság, a szélnyírás, a turbulencia nagyságát és a zivatar valószínűségét is az egyes pontokban és különböző súlyértékekkel látjuk el, hasonlóan a szélsébség értékekhez, majd pedig egy-egy ponthoz tartozó súlyértékek összegét figyelembe véve fog kiszámításra kerülni az optimális útvonal. A további terveink közt szerepel, hogy a cikkben leírt szoftverrendszert hamarosan gyakorlati tesztelésnek is alá fogjuk vetni, azaz éles helyzetben is kipróbálásra fog kerülni, hogy mennyire használható a repülés biztosításához.



**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WÜHRL TIBOR: Kisméretű pilóta nélküli repülőgépek biztonságtechnikája. Doktori (Phd) értekezés. 2007.
- [2] DR. KOVÁCS LÁSZLÓ, DR. VÁNYA LÁSZLÓ: Pilóta nélküli repülőgépek a terrorizmus elleni harcban. Repüléstudományi közlemények különszáma, Szolnok, 2007. Április 20.
- [3] url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2007\\_cikkek/kovacs\\_laszlo\\_vanya\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2007_cikkek/kovacs_laszlo_vanya_laszlo.pdf) (2011.11.15.)
- [4] PALIK MÁTYÁS: Pilóta nélküli légijármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légi erő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben. Doktori (Phd) értekezés. Budapest, 2007.
- [5] POGÁCSÁS IMRE: A pilóta nélküli repülőeszközök, avagy egyenes út a robothadviselésig? Repüléstudományi közlemények XX. Évfolyam 2008. 2. Szám.
- [6] Pilóta nélküli repülőgép.
- [7] url: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Pil%C3%B3ta\\_n%C3%A9lk%C3%BCli\\_rep%C3%BCl%C5%91g%C3%A9p](http://hu.wikipedia.org/wiki/Pil%C3%B3ta_n%C3%A9lk%C3%BCli_rep%C3%BCl%C5%91g%C3%A9p) (2011.12.10.)
- [8] GÁCSER ZOLTÁN: A mini és a mikro pilóta nélküli repülőgépek. Repüléstudományi Közlemények Különszám 2003.
- [9] GÖNCZI SÁNDOR, GYULAFFY BÉLA, MÁTYÁS ATTILA, PROKK PÉTER, RÁTH TAMÁS, SIMON ATTILA, VAJDA RÓBERTNÉ: Pilóta nélküli felderítő repülőeszközök. Honvédelmi Minisztérium Haditechnikai Intézet, Budapest, Haditechnikai Füzetek 1999. 1. Szám
- [10] BARBARA SAUTER: Army Research Laboratory: Weather Impacts on the Aerostar Unmanned Aircraft System Based on Climatology over the U.S./ Mexico Border, March 2007.
- [11] SÁNDOR VALÉRIA, WANTUCH FERENC: Repülésmeteorológia. 2005. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat.
- [12] A repülés alapjai – Szélnyírás.
- [13] url: [http://www.pcpilotcenter.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=31%3Aklub-archivetamas&catid=9%3Airasok-a-repuelesrl&Itemid=9&limitstart=6](http://www.pcpilotcenter.com/index.php?option=com_content&view=article&id=31%3Aklub-archivetamas&catid=9%3Airasok-a-repuelesrl&Itemid=9&limitstart=6) (2011.11.15.)
- [14] HADOBÁCS KATALIN, DR. BOTTYÁN ZSOLT, DR. WEIDINGER TAMÁS, GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ: Repülésre veszélyes időjárási helyzetek rekonstrukciójának alkalmazási lehetőségei – Felületi jegesedés becslése és a hozzá tartozó szimulációs környezet kialakítása. Budapest, 2011.
- [15] WENDL BERNADETT, GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ, DR. WEIDINGER TAMÁS: A WRF modell működése az ELTE Meteorológiai Tanszék számítógépes rendszerében. Szélprofil becslések. Budapest, 2009.
- [16] KÓSA ANDRÁS: Optimum számítási modellek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979, pp. 337-344.
- [17] Lifted condensation level.
- [18] url: <http://www.answers.com/topic/lifted-condensation-level> (2012.03.10.)
- [19] GEORGE J.J.: Weather Forecasting for Aeronautics. New York, Academic Press, 1960, pp. 407-41.
- [20] Jesse's Blog: Severe Weather Indices.
- [21] url: [http://www.accuweather.com/adcbn/public/community\\_blog\\_extra.asp?extra=severe#t](http://www.accuweather.com/adcbn/public/community_blog_extra.asp?extra=severe#t) (2012.03.10.)
- [22] DR. WANTUCH FERENC: Visibility and fog forecasting based on decision tree method. 2001. Időjárás 105, pp. 29–38.
- [23] KOCZOR ESZTER, DR. WANTUCH FERENC, SIMON SÁNDOR, DR. HABIL ÁCS FERENC: Repülőgépek jegesedése: egy esettanulmány. Budapest, 2011.
- [24] Aerodinamika.
- [25] url: <http://repklub.uw.hu/PDF/Aerodinamika%20bevezetes.pdf> (2012.03.10.)
- [26] HORÁNSZKY BEÁTA: Gázjellemzők.
- [27] url: <http://www.uni-miskolc.hu/~gazhbea/> (2012.03.10.)
- [28] CHRIS HEINTZ: Airfoils Part 1.
- [29] url: <http://www.zenithair.com/images/kit-data/ht-87-5.html> (2012.03.10.)



Péliné Németh Csilla<sup>1</sup> – Dr. Radics Kornélia<sup>2</sup> – Dr. Bartholy Judit<sup>3</sup>

## REANALÍZIS IDŐSOROK SZÉLKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATA<sup>4</sup>

*A klímaváltozás globális és regionális hatásainak elemzésére, következményeinek becslésére a XXI. század modern társadalmában egyre nagyobb az igény, hiszen a különböző időjárási események hatására elszenvedett anyagi károk mértéke meredeken emelkedik az egyre költségesebb, összetettebb infrastruktúrák (építészet, közlekedés, repülés) alkalmazása miatt. Kutatásaink során az ERA Interim reanalízis adatbázis szélsőérték idősorán (1979-2010), valamint a hazai mérőállomásokon rögzített órás adatsorokon elemeztük a magyarországi szélmező statisztikai jellemzőit, a szélsőértékek térbeli és időbeli tendenciáit. Vizsgálataink eredményét összevetettük egymással annak megállapítása érdekében, hogy a klímamodellek bemenő adataként alkalmazott reanalízis mezők klimatikus jellemzői mennyire esnek egybe a mért adatokból levezetett tulajdonságokkal. Végezetül, az ECHAM RegCM regionális klímamodell hazai adaptálását és verifikációját követően elemeztük a közeljövőre (2021-2050) vonatkozó modellfuttatások talajszél-előrejelzéseit.*

### WIND DATA SERIES ANALYSES OVER HUNGARY

*Nowadays analysing and estimating global and regional effects of climate change become more acute at the modern society due to using more costly and complex infrastructures (architecture, transport, aviation). In the demonstrated research different parameters, spatial and temporal tendencies of Hungarian wind climate were estimated based on the 10-metre wind speed time series of ERA Interim reanalyses data (1979-2010). Furthermore, results were compared with statistics of hourly measured wind speed and wind gust values in order to learn whether characteristics of ERA Interim is widely used as input data of any climate model coincide with measured time series. Finally, 10-metre wind field forecasts were analysed for the near future (2021-2050) based on ECHAM RegCM regional climate model.*

## 1. FELHASZNÁLT ADATOK

### 1. 1. ERA Interim reanalízis adatbázis szélmezői

A földfelszíni, magaslégköri és űrbázisú meteorológiai mérőeszközök és rendszerek által szolgáltatott nagymennyiségű mérési és megfigyelési adat feldolgozása eredményeképpen napjainkban a rácshálózatra számított reanalízis mezők képezik az éghajlati modellek bemenő adatait. A reanalízis mezőkkel futtatott klímamodellek elengedhetetlen, mással nem vagy nehezen helyettesíthető ismerteteket szolgáltatnak a modern klímakutatás számára.

Vizsgálatainkhoz a jelenleg legfrissebb globális reanalízis adatbázist (ERA Interim) alkalmaztuk, melyet az Európai Középtávú Meteorológiai Előrejelző Központ (ECMWF) állított elő kutatók, klímamodellezők részére. Az időben folyamatosan bővülő ERA Interim napi adatokból és havi átlagokból álló mezőinek  $1,5 \times 1,5^\circ$  felbontású, kvázi real-time adatbázisa az Inter-

<sup>1</sup> MH Geoinformációs Szolgálat, pelinenemeth.csilla@mhtehi.gov.hu

<sup>2</sup> MH Geoinformációs Szolgálat, radics.kornelia@mil.hu

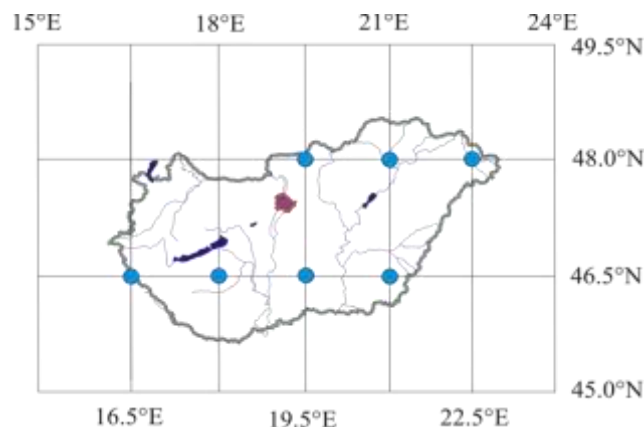
<sup>3</sup> ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, bari@ludens.elte.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu



netről szabadon letölthető az 1979. január 1-től 2011. december 31-ig terjedő időszakra (2012. március 25-én). Az adatsorok a meteorológiában elterjedt szabványos bináris formátumokban (GRIB és netCDF) állnak rendelkezésre 128 földfelszíni és magaslévköri paraméterre a teljes Földet, illetve a definiált területet lefedő rácshálózati pontokra. [1]

A korábban hasonló célokra, széleskörűen alkalmazott ERA-40 reanalízis adatbázishoz (1957-2002) képest az ERA Interim tekintetében előrelépést jelent az alkalmazott adatasszimilációs módszerek és a különböző észlelések, megfigyelések figyelembe vételének módja. A numerikus előrejelző modellek eredményességét nagymértékben befolyásolja a kezdeti feltételek (kezdeti érték probléma) meghatározása, valamint az alkalmazott adatasszimiláció. Az ERA Interim esetében a négydimenziós variációs adatasszimilációt (4D-Var) alkalmazták, ahol az idő a negyedik dimenzió, szemben a korábban elterjedt háromdimenziós módszerrel (mely a modell napi hibáját figyelmen kívül hagyja). A 4D-Var módszer nagy előnye, hogy a nem szinoptikus megfigyeléseket (pl.: műholdas mérések) a hozzájuk tartozó időpontokhoz kötötten vehetjük figyelembe. Az ERA Interim mezők pontosságát tovább növelte, hogy finomították a nedvességi mezők analízisét, illetve továbbfejlesztették a modell fizikai alapjait és az adatellenőrzési módszereket. [2][3]



1. ábra A vizsgálatba bevont ERA Interim (28 db) rácspontok

Kutatásaink során a térben és időben homogén, rácshálózatra (1,5°) számított (10 méteres magasságra vonatkozó) u és v szélkomponensmezők 6 órás idősorait elemeztük.

## 1. 2. Szinoptikus mérőállomások széladatai

Vizsgálatainkhoz 36 hazai szinoptikus mérőállomás órás szélirány, szélesség és szélökés adatsorát (1975-2010) használtuk fel. Elvégeztük a rendelkezésre álló adatok minőségi és mennyiségi ellenőrzését. [4] Nagy figyelmet fordítottunk az állomások metaadataira, melyek figyelembe vételével végül – a '90-es évek végén automatizált – 26 állomás 14 éves adatsorára vonatkozóan (1997-2010) számítottuk ki a szélklíma paramétereit.

## 1. 3. ECHAM5 RegCM regionális klímamodell szélmezői

Az ECHAM5 (The European Community – Hamburg) általános cirkulációs modellt a Max Planck Meteorológiai Intézet fejlesztette az ECHAM modellszalárból (eredendően az ECMWF által fejlesztett globális előrejelző modell volt), melyet a klímakutatás céljaira módosítottak. A háromdimenziós, 10 km horizontális felbontású, 18 vertikális szinttel rendelkező, szigma koordináta rendszert alkalmazó RegCM klímamodell az ICTP (International Centre for Theoretical Physics) inté-

zetnek köszönhetően áll az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékének rendelkezésére. A tanszéken folyó klímakutatás egyik lényeges eleme volt a modell hazai adaptációja a Kárpát-medencére az ERA-40 reanalízis mezők felhasználásával. Az elmúlt évtized végén a modell validációját is elvégezték a tanszéken a harmincéves referencia intervallum (1961-1990) adataival. A RegCM finomfelbontású modell kezdeti és peremfeltételeit a 25 km rácstávolságú, A1B közepes klímaváltozási forgatókönyvvel futtatott ECHAM klímamodellből veszi át.

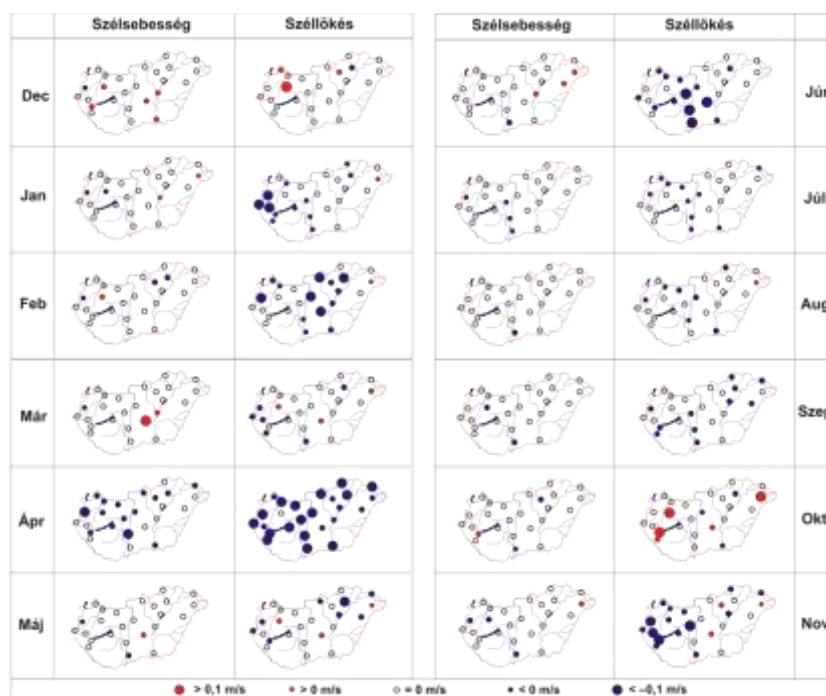
## 2. EREDMÉNYEK

### 2. 1. Havi vizsgálatok 1997-2010 időszakra

A szinoptikus állomások szélsősebesség és szélleőkés adatai esetében minden hónapra meghatároztuk az átlagok és a különböző percentilisek értékeit, majd ezek változását elemeztük az időszak folyamán (2-4. ábra). Piros színnel az emelkedő, kékkel a csökkenő tendenciákat jeleltük, a nagyobb változást nagyobb körátmérő jelzi.

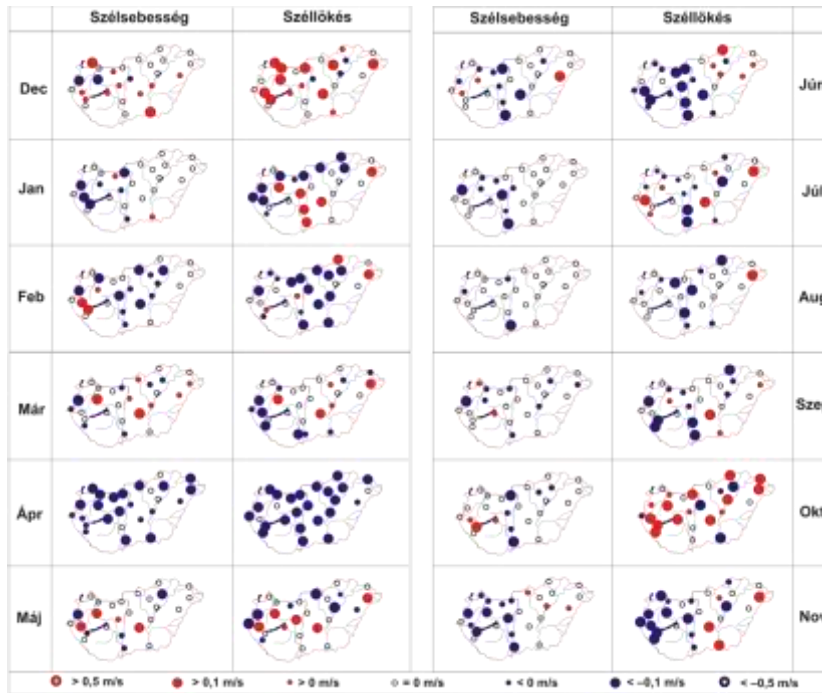
Korábbi tanulmányainkban a percentilisek teljes évekre számított hároméves csúzóátlagainak alakulását vizsgáltuk. [4] Akkor a néhány állomáson előforduló emelkedés mellett az esetek többségében csökkenő tendencia volt jellemző. Megfigyelhető volt továbbá az ország területi megosztottsága, a Dunántúlon döntően csökkenések, az Alföldön kismértékű emelkedések fordultak elő.

Az éves tendenciák részletesebb megismerése érdekében havi statisztikákat számoltunk. [5] A 2. ábrán a szélsősebesség és szélleőkés átlagainak havi változását mutatjuk be. Különösen szembevetű csökkenés figyelhető meg áprilisban, melynek mértéke a szélleőkéseket tekintve még intenzívebb. Emelkedés az ország területén elszórtan – április, július és szeptember hónapokat kivéve – fordult elő. Júliusban, augusztusban és szeptemberben minimális eltérések mutatkoztak a vizsgált időszakban.

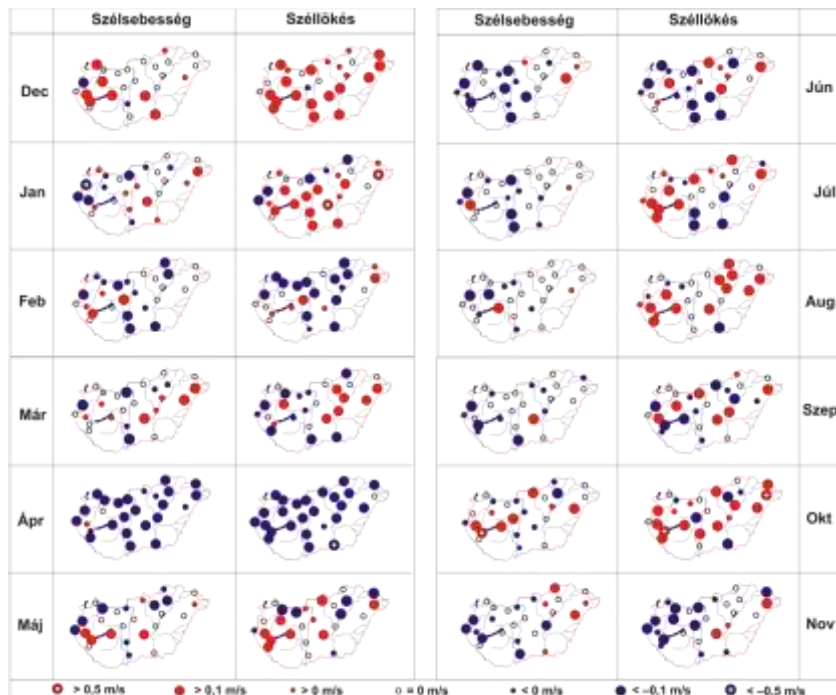


2. ábra A szélsősebesség és a szélleőkés átlagainak havi változása 1997-2010 között

A 3-4. ábra a vizsgált percentilisek (90% és 99%) havi változását mutatja. Az eltérések mértéke az egyre magasabb percentilis értékkel jól láthatóan növekszik. Az áprilisi csökkenések dominanciája tovább nőtt, és ezzel párhuzamosan minden hónapban intenzívebb emelkedések jelentek meg. Az ország területi megosztottsága kevésbé szembetűnő, mint ahogy azt az éves vizsgálatoknál láttuk. A csökkenő tendenciák júniusban és novemberben figyelhetők meg a Dunántúlon, miközben novemberben az Alföldön emelkedést tapasztaltunk.



3. ábra A szélsebesség és a széllökés havi percentiliseinek (90%) változása 1997-2010 között

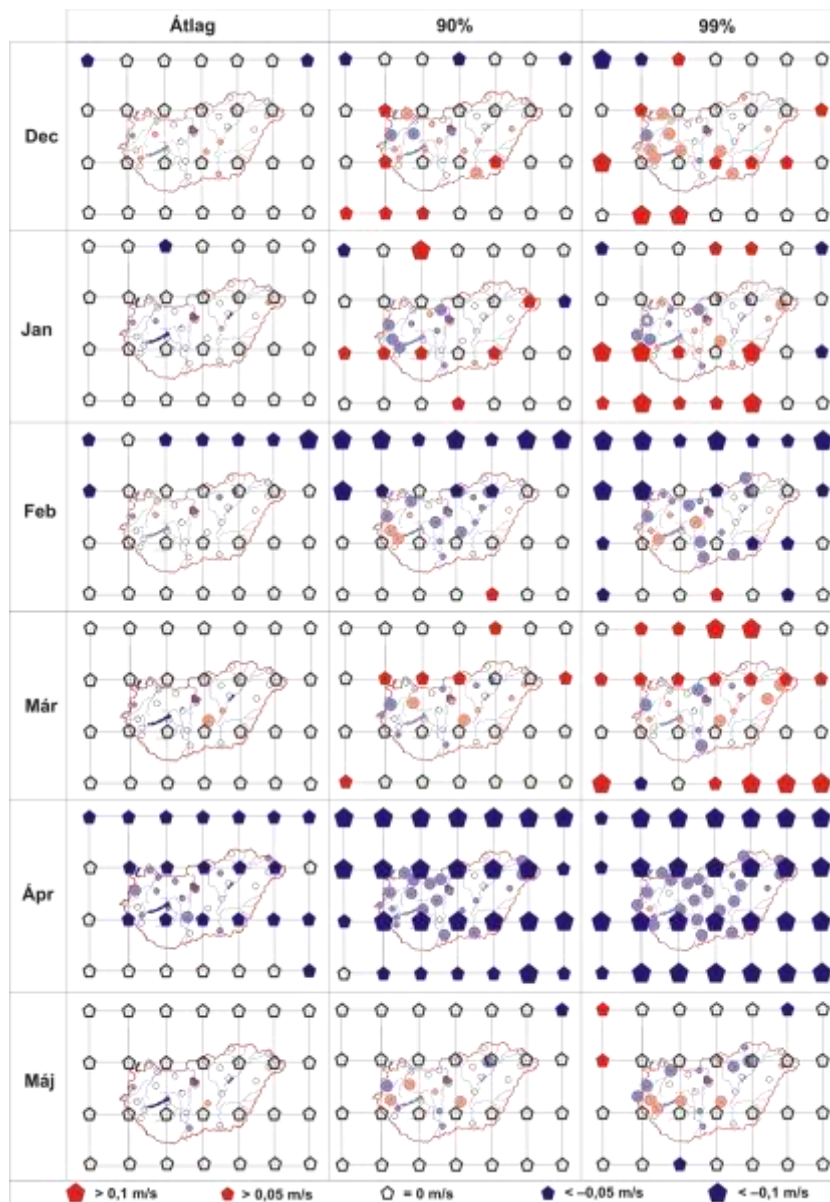


4. ábra A szélsebesség és a széllökés havi percentiliseinek (99%) változása 1997-2010 között

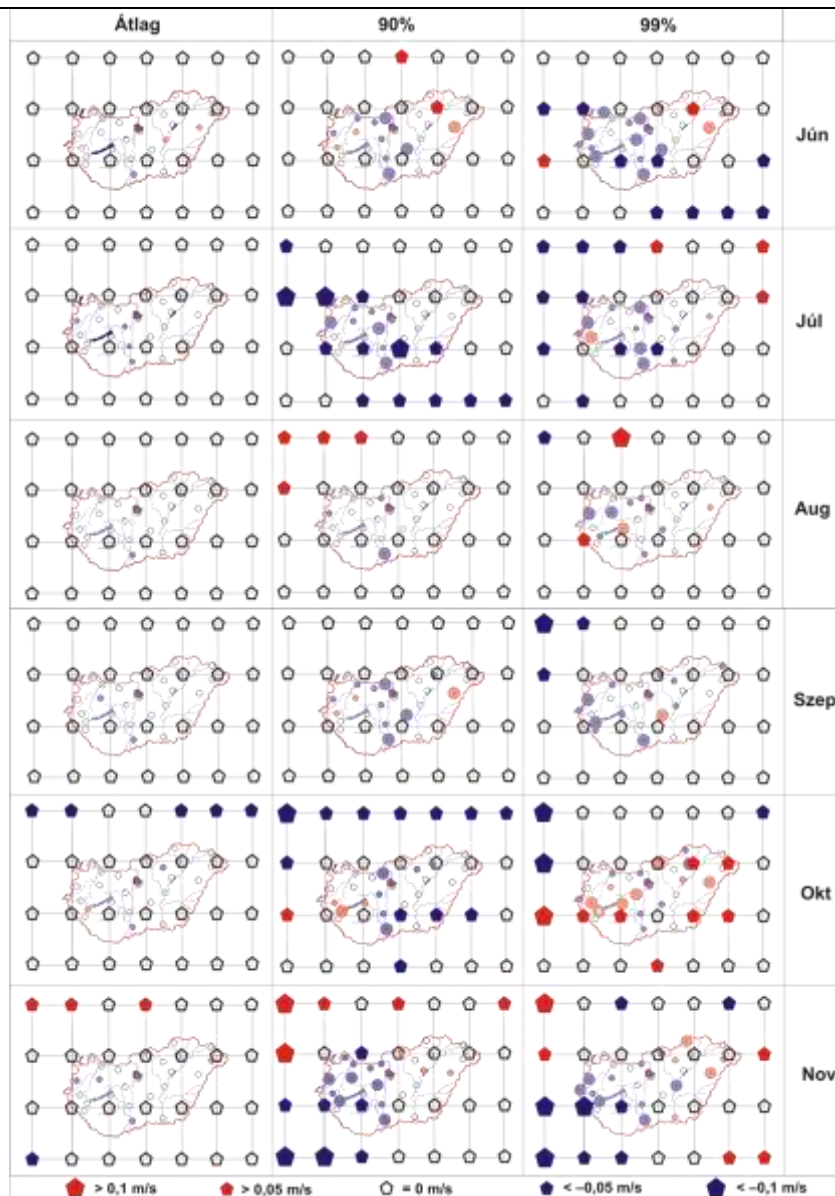
A szinoptikus mérőállomások adatainak idősorai erőfeszítéseink ellenére – minőségi és meny-

nyiségi adatellenőrzés, adatkorrekció, metaadatok figyelembe vétele – térbeli és időbeli inhomogenitásokat, adathiányokat tartalmazhatnak az állomások költözése és megszűnése, valamint a mérési környezet, a mérőműszer, illetve az alkalmazott mérési módszer, sőt az észlelő személyének megváltozása miatt is. Emellett az egyenetlen állomáshálózat, illetve az adatok interpolálási problémaköre nagyban megnehezíti az idősorok korszerű térinformatikai eszközökkel történő térképi ábrázolását.

Az adatsorok homogenizálását általában többféle forrásból származó mérési eredmények figyelembe vételével, matematikai eszközök alkalmazásával végzik. Erre jó példa az ERA Interim adatbázis, melynek durva felbontású, publikus változatán szintén elvégeztük a szélmező 14 éves idősorainak elemzését. Az 5-6. ábrán együtt ábrázoltuk a fent bemutatott mérési adatsorok alapján kapott tendenciákat a reanalizált mezők rácspontokra számított tendenciáival. A körök a hazai szinoptikus mérőállomások, az ötszögek az ERA Interim rácspontok tendenciáit jellemzik a vizsgált időszakban.



5. ábra. Az egyes évek havi szélsébség átlagaira és a vizsgált percentiliseikre (90% és 99%) illesztett lineáris trend együtthatójának változása 1997-2010. időszakban a téli és tavaszi hónapokban



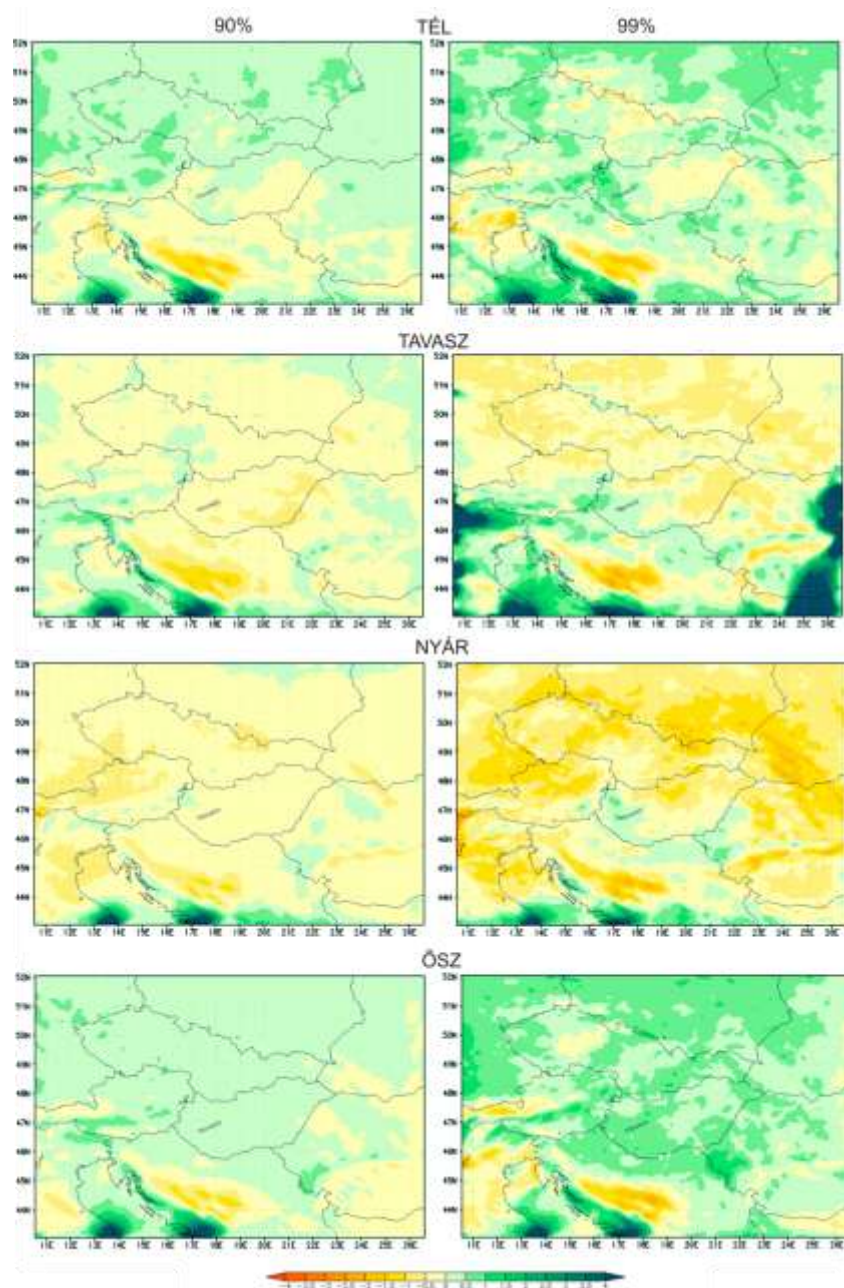
6. ábra Az egyes évek havi szélesség átlagaira és a vizsgált percentiliseikre (90% és 99%) illesztett lineáris trend együtthatójának változása 1997-2010. időszakban a nyári és őszi hónapokban

Az adatsorok legjobb egyezése áprilisban figyelhető meg. Az októberi és decemberi emelkedések, illetve a júliusi és novemberi csökkenések jó közelítéssel ugyancsak szoros kapcsolatban állnak egymással, azonban a változás mértéke az ERA Interim esetében kisebb. A reanalízis trend nem mutatott számottevő változást februárban, májusban, augusztusban és szeptemberben, emellett – jellemzően a magasabb percentilisek esetén – egyes mérőállomásokon határozott trendek jelentek meg. Ellentétes előjelű változást Nyugat-Magyarországon találtunk január hónapban.

Az eltérések további vizsgálatok szükségességét vetik fel. Tervezzük, hogy a közeljövőben elvégezzük az ECMWF tagországok részére hozzáférhető és az Országos Meteorológiai Szolgálat által rendelkezésünkre bocsátott ERA Interim finomabb felbontású (0,5°) reanalízis szélmezők vizsgálatát és összehasonlítását a mérési eredményekkel.

## 2. 3. ECHAM RegCM évszakos vizsgálatok

A közelmúlt szélviszonyainak vizsgálatai mellett megkezdjük a közeljövőre, illetve a XXI. század végére a Kárpát-medence területére vonatkozó éghajlati előrejelzések elemzését is. A 7-8. ábrán az évszakos percentilisek (90% és 99%) és a 10 méterre számított szélmező- maximumok referencia-időszakhoz (1961-1990) viszonyított változásait mutatjuk be az ECHAM RegCM regionális klímamodell eredményei alapján. A sárga és narancs árnyalatok a csökkenést, a zöld és kék színek az emelkedést jelzik.

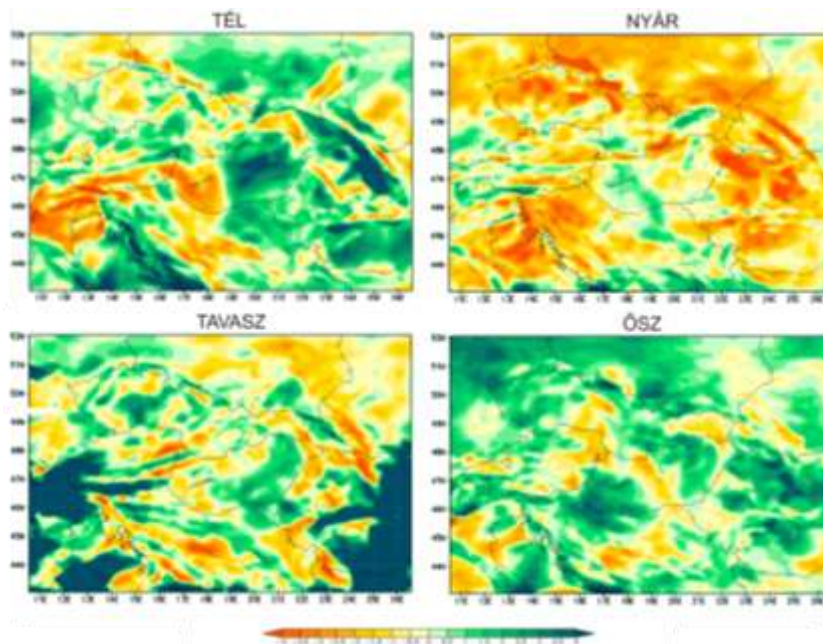


7. ábra ECHAM RegCM szélmező évszakos percentiliseinek (90% és 99%) változása a közeljövőben (2021-2050, referencia-időszak: 1961-1990)

A 7. ábráról leolvasható, hogy Magyarország területén a várható változás mértéke nem haladja meg az 1,5 m/s-ot. A változás jellegét tekintve elmondható, hogy a 90%-os percentilisekben tavasszal és nyáron csökkenést, ősszel növekedést prognosztizál a mo-

dell. A 99% percentilis térképeken a nyugati országrészben megfigyelhető a szélsébség növekedése, míg keleten annak enyhe csökkenése jelenik meg az őszt kivéve minden évszakban.

A 8. ábrán a szélsébség évszakai maximumainak változását ábrázoltuk. A különbségeket az 1961-1990. harmincéves referencia intervallumra számított szélsébség értékekkel képeztük. A maximumok vonatkozásában akár 4 m/s-ot is meghaladó eltérések is előfordulnak hazánk területén. A teljes térkép kivágatot tekintve nyáron a csökkenő, ősszel az emelkedő tendenciák dominálnak a 7. ábrával összhangban. Télen a Dunántúlon intenzív csökkenések, a Dunától keletre a szélmaximumok emelkedése figyelhető meg. Tavasszal a változás mértéke kisebb országhatárainkon belül, mint télen.



8. ábra ECHAM RegCM szélmező évszakai maximumainak változása a közeljövőben (2021-2050, referencia-időszak: 1961-1990)

Az átlagos szélsébség évszakai minimumainak, maximumainak, percentiliseinek modellezése mellett a közeljövőben tervezzük ugyanezen szélsőértékek havi elmozdulásának elemzését, valamint a szélökések évszakai és havi tendenciáinak vizsgálatát is annak érdekében, hogy átfogó képet kapjunk a hazánk szélklímájának a közeli és távoli jövőben várható változásairól.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának a szinoptikus meteorológiai állomások széladatainak használatáért.

Az elvégzett kutatásokat részlegesen az alábbi pályázatok támogatták: 2006/TKI/246, T-049824, K-67626, K-69164, K-78125.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ERA Interim u és v szélkomponensek 45-49,5°É és 15-24°K területre 1997. január 1. és 2010. december 31. között url: [http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim\\_daily/](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/) (2011.03.09.)
- [2] BERRISFORD, P. – DEE, D. P. – FIELDING, K. – FUENTES, M. – KÅLLBERG, P. – KOBAYASHI, S. – UPPALA, S. M. (2009): The ERA-Interim Archive. ERA Report Series No. 1. ECMWF: Reading, UK.
- [3] DEE, D. P. – UPPALA, S. M. – SIMMONS – A. J., BERRISFORD – P., POLI, P. – KOBAYASHI, S. – ANDRAE, U. – BALMASEDA, M. A. – BALSAMO, G. – BAUER, P. – BECHTOLD, P. – BELJAARS, A. C. M. – VAN DE BERG, L. – BIDLOT, J. – BORMANN, N. – DELSOL, C. – DRAGANI, R. – FUENTES, M. – GEER, A. J. – HAIMBERGER, L. – HEALY, S. B. – HERSBACH, H. – H'OLM, E. V. – ISAKSEN, L. – KÅLLBERG, P. – KÖHLER, M. – MATRICARDI, M. – MCNALLY, A. P. – MONGE-SANZ, B. M. – MORCRETTE, J.-J. – PARK, B.-K. – PEUBEY, C. – DE ROSNAY, P. – TAVOLATO, C. – THÉPAUT, J.-N. – VITART, F. (2011): The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society 137: 566p.
- [4] PÉLINÉ N. Cs., RADICS K., BARTHOLY J.: Hazánk szélklímájának térbeli és időbeli változásai (1997-2010). Repüléstudományi Közlemények. Repüléstudományi Konferencia 2011 – Véget ért a MiG-korszak tudományos konferencia kiadványa, 2011/2. különszám ([www.szrfk.hu/rtk/](http://www.szrfk.hu/rtk/)), 2011.
- [5] PÉLINÉ N. Cs., RADICS K., BARTHOLY J.: Seasonal variability of wind climate in Hungary. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, Vol. 7, p. 39-48, 2011.





Sándor Tamás<sup>1</sup> – Orosz László<sup>2</sup>

## MAGASSÁGI AKADÁLY-ADATBÁZISOK KIALAKÍTÁSA A HM TÉRKÉPÉSZETI KÖZHASZNÚ NONPROFIT KFT. FELMÉRŐ OSZTÁLYÁN<sup>3</sup>

*A HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft. Felmérő osztályán 2010 óta foglalkozunk magassági akadály-adatbázisok kialakításával. Munkánk során felhasználjuk a földi felmérésekből, klasszikus földmérési módszerekkel előállított adatokat, valamint fotogrammetriai módszerekkel előállított, távérzékelésből származó adatokat. Feladatunk, hogy az előállított adatokból olyan szabványos digitális adatbázist alakítsunk ki, amelyet a megrendelőink integrálni tudnak saját rendszerükbe. Az előadás célja, hogy bemutassa a folyamatot és módszereket két darab katonai repülőtér esetében valamint egy, az egész országot lefedő, már elkészített adatbázis példáján. Továbbá, hogy bemutassa az adatbázis-kialakítás technológiájának jövőbeli lehetőségeit.*

### **CREATING OBSTACLE DATABASES AT THE SURVEYOR DEPARTMENT IN THE MAPPING COMPANY OF THE HUNGARIAN MINISTRY OF DEFENCE**

*The Mapping Company Of The Hungarian Ministry Of Defence (MoD) has been creating eTOD<sup>4</sup> since 2010. In the course of the database creation process we employ data which were collected by the colleagues of the Surveyor Department who applied the commonly used land surveying methods for the data collection. Also we employed photogrammetric methods and remote sensing procedures to collect source data. Our purpose was to make standard digital databases which could be easily integrated into the customers' own systems. We would like to present our workflow of making the eTOD for two military airfield and a country-wide system.*

### AKADÁLY-ADATBÁZISOK KIALAKÍTÁSÁNAK CÉLJA

A légiforgalom – és így a légiforgalomhoz kapcsolódó földi műveletek – növekedése megköveteli, hogy a légiforgalmi irányító új technológiákat tudjon alkalmazni, fel tudja használni a legújabb, digitális technika által biztosított módszereket, eredményeket és annak előnyeit is munkája során. Emellett igény jelentkezett arra is, hogy az egyes – a repülés biztonságával foglalkozó szervezetek vagy akár a repülőtereket üzemeltető cégek a légiforgalmi előterekre vonatkozó információkat megosszák egymással, mégpedig széleskörűen elfogadott és támogatott formai követelményeknek megfelelően. Mindezek mellett a nagy mennyiségű adat előállításában és kezelésében egyre komolyabb igény merült fel az automatizációra, lehetőség szerint minimálisra csökkentve az emberi beavatkozást a folyamat során.

A digitális akadály- és terepadatok felhasználhatóak többek között műszeres repülés körözéses,

<sup>1</sup> HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit KFT, Felmérő osztály, Fotogrammetriai Alosztály, sandor.tamas@topomap.hu

<sup>2</sup> HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit KFT, Felmérő Osztály, Topogeodéziai Alosztály, felmero@topomap.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>4</sup> eTOD: Electronic Terrain And Obstacle Database – Elektronikus Terep- és Akadály-adatbázis

kényszerhelyzeti, ún. Drift-down vagy akár „kényszerleszállás útvonalon” eljárások kialakításában vagy légiforgalmi térképek készítéséhez, fedélzeti adatbázisok kialakításához. Ezek mellett segítheti az akadálykorlát- és eltávolítás tervezését és végrehajtását a különböző repülőtereken.

A digitális akadályadatok legnagyobb előnye a repülőtér-üzemeltető támogatása az akadályok figyelemmel kísérésében. Mivel egy repülőtér biztonságát és hatékonyságát komolyan befolyásolhatják a felszállási vagy megközelítési területhez közel található akadályok, ha az elektronikus adatok használatával az értékelés folyamata hatékonyabbá tehető, az végső soron a repülőterek üzemeltetésének hatékonyságát növeli. [10]

Az, hogy mit is tekintünk akadálynak nem teljesen egyértelmű. Az „akadály” kifejezés jelenlegi alkalmazásai bizonyos értelemben rámutatnak arra a problémára, hogy nehéz egyetlen, mindent átfogó meghatározás megadása:

Akadálynak minősül minden mozdulatlan (ideiglenes vagy állandó) és mozgó tárgy vagy annak részei, amely:

- a légi járművek földi mozgására kijelölt területen található; vagy
- egy, a légi járművek repülés közbeni védelmére kijelölt felület fölé emelkedik; vagy
- ezen meghatározott felületeken kívül helyezkedik el, azonban úgy állapítják meg, hogy veszélyt jelent a léginavigációra.

Ez a meghatározás azon a szükséges alapon alapul, hogy a légi járműveket meg kell védeni a léginavigáció során, azaz az akadály egy olyan objektum, amely potenciális hatással bírhat a légi jármű-műveletekre.

A munkánk során megkülönböztettünk mesterséges és természetes akadályokat, valamint a terepakadályokat.

**Akadály:** Mindazon ideiglenesen vagy állandóan rögzített, vagy mozgatható objektum vagy annak akár egy része, amely olyan területen helyezkedik el, ahol a légi közlekedési eszközök földi mozgása történik; továbbá minden olyan objektum, amely azon sík fölé nyúlik, amelyet a légi járművek biztonságos repülése érdekében határoztak meg; valamint azok az objektumok, amelyek a fent említett felületeken kívül esnek, de a légi navigációra veszélyt jelentenek.

**Terep:** A földfelszín azon része, amely természetes állapotában tartalmazza a hegyeket, dombokat, hegyláncokat, völgyeket, vízfelületeket, az állandóan hóval vagy jéggel borított területeket, a mesterséges akadályok kivételével.

Elektronikus terep- és akadályadatok halmazainak lefedett területeit az alábbiak szerint kell meghatározni:

- 1. Terület: a Tagállam teljes területe;
- 2. Terület: a repülőtér közelében, az alábbiak szerinti további bontásban;
  - 2a Terület: Egy téglalap alakú terület a futópálya körül, amely a futópálya sávból, és – amennyiben létezik – az akadálymentes területből áll;
  - 2b Terület: A 2a Terület széleitől a felszállás irányában 10 km hossza elnyúló terület, amely mindkét oldalra 15% mértékben szélesedik; valamint
  - 2c Terület: A 2a és 2b Területen kívül, a 2a Terület széleitől legfeljebb 10 km távolságra kinyúló terület; valamint

- 2d Terület: A 2a, 2b és 2c Területen kívül eső terület, amely a repülőtér vonatkozási pontjától számított 45 km távolságig, vagy a létező TMA<sup>5</sup> határig tart, amelyik közelebb esik;
- 3. Terület: A repülőtér mozgási területét határoló terület, amely vízszintesen a futópálya középvonalától számított 90 m, illetve a mozgási terület egyéb részeinek szélétől számított 50 m távolságig húzódik.
- 4. Terület: II. vagy III. kategóriás precíziós megközelítési eljárással rendelkező futópálya küszöb előtt 900 m távolságban kezdődő, a meghosszabbított futópálya középvonal két oldalán 60 m távolságban, a megközelítés irányában elnyúló terület. [10]

## ADATBÁZISAINK

A HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft. Felmérő osztályán 2010. óta foglalkozunk a magassági akadály-adatbázisok kialakításával. Kettő katonai repülőtér – MH Pápa Bázisrepülőtér, MH Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis Kecskemét – területére készültek el ezek az adatbázisok, amelyeket a Magyar Honvédség Légivezetési és Irányítási Központ (Továbbiakban: MH LVIK) rendelt meg a cégünktől. Valamint – az egész országot lefedő – 60 méternél magasabb objektumokat tartalmazó magassági adatbázisunkat aktualizáltuk, amelyet a HungaroControl ZRt. rendelt meg a cégünktől.

## ALAPANYAGOK

A munkáink során felhasználtunk raszteres és vektoros adatokat is, melyek különféle adatforrásokból származtak, részben már meglévő adatokat, részben pedig az általunk újonnan létrehozott adatokat használtuk fel. Az adatok előállítása részben klasszikus földmérési eljárásokkal, részben fotogrammetriai eljárásokkal történt. Feldolgozásuk térinformatikai rendszerekben történt.

**Vektor:** Olyan koordináta-értékeken alapuló adatmodell, amelyben földrajzi elemeket – amelyek lehetnek pontszerűek, vonalasak vagy felületszerűek – jelenítünk meg. Minden pontszerű földrajzi elem jellemezhető egy koordináta számpárossal (magassági adatok ismeretében koordináta-számhármassal). A vonalas és felületszerű földrajzi elemek pedig az egyes töréspontok koordináta-értékeinek rendezett listában való felsorolásával és a köztük lévő térbeli kapcsolatokkal jellemezhetőek. Az egyes földrajzi elemekhez kapcsolódhatnak egyéb leíró adatok, amelyeket összefoglalóan attribútumoknak nevezünk.

**Raszter:** Olyan térbeli adatmodell, amelyben a teret oszlopokba és sorokba rendezett, azonos méretű cellák (pixelek) tömbjével lehet definiálni. A raszterek egy vagy több sávból állhatnak. Minden egyes cella tartalmaz egy értéket, valamint azt a koordináta-párt, ami a cella középpontját jeleníti meg a térben. Cellák azon csoportja, amelyeket azonos értékűek, azonos típusú földrajzi elemet jelenítenek meg.

A következő alapanyagokat használtuk fel munkáink során: a HM Térképészeti NKft. Felmérő osztálya által földi felmérési módszerekkel felmért, nagy pontosságú, 1:500 méretarányú

---

<sup>5</sup> TMA: Terminal Manoeuvring Area – Közelkörzeti Irányító Körzet



digitális térképi adatbázist. Ebben a mesterséges objektumokra vonatkozó pontossági előírásoknak megfelelően cm pontossággal kerültek bemérésére és ábrázolásra az objektumok. A Veszprém Megyei Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Erdészeti Igazgatóság (Továbbiakban: Erd. Ig.) munkatársaitól megkaptuk a kívánt területre vonatkozó famagasság-adatokat. A cég által korábban elkészített 25 méteres és 60 méteres magassági akadály-adatbázisok, amiket rendszeresen időközönként helyszínelve karbantart, aktualizál a cég. Ezen kívül rendelkezésünkre áll az egész országot lefedő digitális domborzatmodell, amelynek terepi felbontása 10 méter. A kecskeméti repülőtér közvetlen környezetére cégünk elkészített egy 2 méteres terepi felbontású digitális felületmodellt, amelynek az alapanyagául szolgáló légifelvételeket a cégünk Felmérő Osztályának Légifényképész Alosztálya készítette.

## MÓDSZEREK ÉS ELJÁRÁSOK

A magassági akadályok méréseknél a földi mérések alkalmazása igen idő- és költségigényes folyamat. Automatizálása nem oldható meg, a bemérés eredménye nagyban függ az azt végző felmérők felkészítésétől és tapasztalatától. Ezen okok miatt hatékonyság növelése érdekében törekszünk arra, hogy a lehető legnagyobb területet fotogrammetriai módszerekkel értékeljük ki és minimalizáljuk a földi mérések mennyiségét.

Ugyanakkor a futópálya közeli területeken Area 4, Area 3, és az Area 2 bizonyos részein a numerikus mérési követelmények miatt szükséges a földi mérések alkalmazása, mivel tisztán fotogrammetriai módszerekkel a kívánt pontosságot nem tudjuk elérni.

Egy másik fontos érv a földi mérések szükségessége mellett, hogy fotogrammetriai módszerekkel a pontszerű objektumok, különösen a kis alapfelületi kiterjedésű objektumok kiértékelése a legtöbb esetben nem lehetséges, vagy magasságuk nem határozható meg kellő pontossággal és megbízhatósággal.

Földi mérési módszerek alatt értjük azokat a geodéziai műszerekkel (mérőállomás, GPS<sup>6</sup>, lézertáv mérő, lejtzőgmérő) terepen végzett méréseket, amelyek célja az akadálysíkot veszélyeztető (azt megközelítő illetve átdöfő) objektumok földrajzi koordinátáinak és magassági adatainak meghatározása.

Ezek a mérések irányulhatnak annak ellenőrzésére, hogy az adott objektum ténylegesen akadályt képez, tehát átdöfi-e az adott ponton érvényes akadálysíkot. Illetve jelentheti az objektum teljes bemérését, amennyiben bizonyos, hogy a repülés biztonsága szempontjából akadályt képez. Ilyenkor meg kell határozni az akadályt jelentő objektum síkrajzi koordinátáit, legfelső pontjának magasságát egy referencia tengerszint felett, valamint legfelső pontjának magasságát a helyi átlagos talajszint felett (relatív magasság).

---

<sup>6</sup> GPS: Global Positioning System – Globális Helymeghatározó Rendszer



## ESZKÖZÖK

Ellenőrző földi mérések eszközei: Kézi távmérő, Lejtszögmérő

Szabatos földi mérések eszközei: Geodéziai GPS, Mérőállomás

A földi mérések végzésénél az irodai előkészítés szerepe igen fontos, mivel a felmérő általános esetben a terepen nem tudja eldönteni, hogy az adott objektum akadályt képez-e vagy sem. Vegyük figyelembe, hogy annak meghatározása, hogy egy természetes vagy mesterséges tárgy átdöfi-e az akadálysíkot, az több tényezőtől függ. Ezek: a tárgy magassága a talajszint felett, a talajszint magassága adott pontban a tengerszint felett, az akadálysík magassága az adott pontban a tengerszint felett. Mivel ezek pontról-pontra folyamatosan változó értékek, ezért a felmérő ezen adatok ismeretének hiányában egy adott helyen nem tudja eldönteni, hogy például egy fát meg kell-e mérni, mert az átdöfi az akadálysíkot vagy sem.

Ezért a tényleges terepi mérések számát jelentősen csökkentheti, ha előzetesen készítünk egy szintvonalas térképet, amely ábrázolja a terepszint és az akadálysík magasságának különbségét. Így egy tetszőleges pontban végezhető egy előzetes szűrés az objektumok relatív magasságára (ezen mérések eszközei a kézi lézertávmérő és a lejtszögmérő), mely mérések pontossága elmarad a szabatos mérések pontosságától, de jóval gyorsabban végezhető és kielégítik a szükséges numerikus követelményeket.

Amennyiben a terepen a felmérő egyértelműen el tudja dönteni vagy a közelítő mérés eredménye az, hogy az objektum megközelíti az akadálysíkot, úgy szabatos mérés végzése szükséges.

Síkrajzi értelemben az objektum koordinátáját illetve koordinátáit valamilyen geodéziai pontkapcsolással határozzuk meg. Ez lehet például poláris pontmeghatározás, előmetszés, ívmetszés. Gyakorlatban a legtöbbször előforduló helyzet, hogy a GPS-ekkel meghatározott ideiglenes alappontokra támaszkodva a felmérő hátrametszéssel határozza meg a mérőállomás álláspontját és tájékozását. A mérőállomás letájékozása után pedig poláris pontmeghatározással adódik az akadály koordinátája. A relatív magassági értékeket trigonometriai magasságméréssel határozzuk meg azonos műszerállásról. Speciális esetekben előfordulhat, hogy a síkrajzi koordináták mérése a GPS-szel meghatározott ideiglenes alappontokról ívmetszéssel (kézi lézertávmérővel, vagy hitelesített mérőszalaggal történt távolságmérés felhasználásával) történik. Azonban ezekben az esetekben is szabatos trigonometriai magasságméréssel kell meghatározni az objektum magasságát.

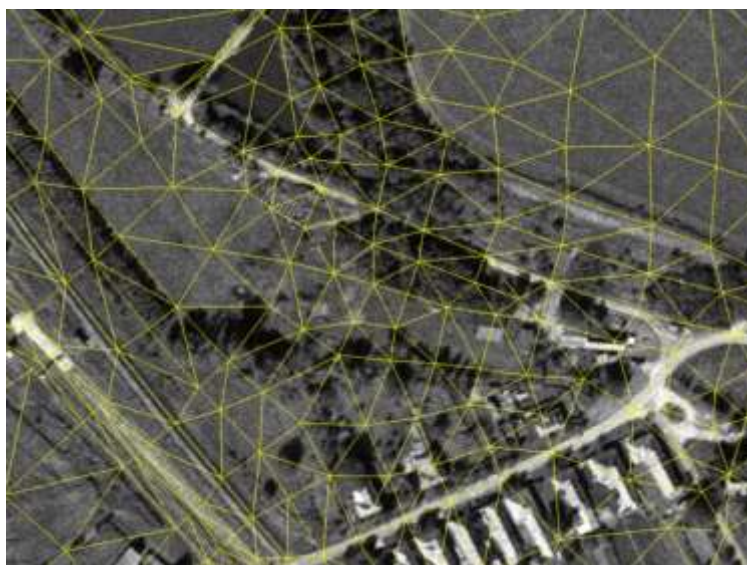
A fotogrammetria a fényképek alapján történő alak- és méret-meghatározás művészete és tudománya, vagyis a fotogrammetria segítségével lehetőségünk van tárgyak helyzetének és méretének, fényképek alapján történő meghatározására. A fotogrammetria a tárgyak közvetlen érintése nélkül teszi lehetővé azok geometriai és tartalmi jellemzőinek meghatározását. Az ilyen jellegű adatnyerési módok összefoglaló neve távérzékelés. [7]

Nagy területről, egyazon időben van lehetőségünk a fotogrammetriai módszerek használatával nagy mennyiségű adatot begyűjteni, a folyamatok és feladatok egy része könnyen automatizálható, a legújabb módszerek használatával nagy pontosságot érhetünk el az adatok feldolgozása során.

A fotogrammetria felhasználja a légifelvételekből előállított sztereo képpárokat, amelyek kiértékelése után előállítható a terület domborzatmodellje (felületmodellje), valamint a mérésre alkalmas ortofotók.



1. ábra Sztereo képpár (Forrás: HM Térképészeti Nonprofit KFT)



2. ábra TIN<sup>7</sup>-modell megjelenítése egy SOCET SET munkaállomáson  
(Forrás: HM Térképészeti Nonprofit KFT)

Ahhoz, hogy megértsük, milyen különbségek vannak a domborzatmodell és a felületmodell között, valamint, hogy milyen céllal tudjuk felhasználni az egyes modelleket a magassági-akadályadatbázisok kialakításában, tekintsük át az általánosan használt elnevezéseket és rövidítéseket.

A legelterjedtebb fogalomhasználat szerint digitális domborzatmodellnek – magyar rövidítése: DDM, angol megnevezéssel: Digital Elevation Model, rövidítése: DEM – nevezzük azokat a rendszereket, amelyek a földfelület magassági viszonyait modellezik, a természetes vagy

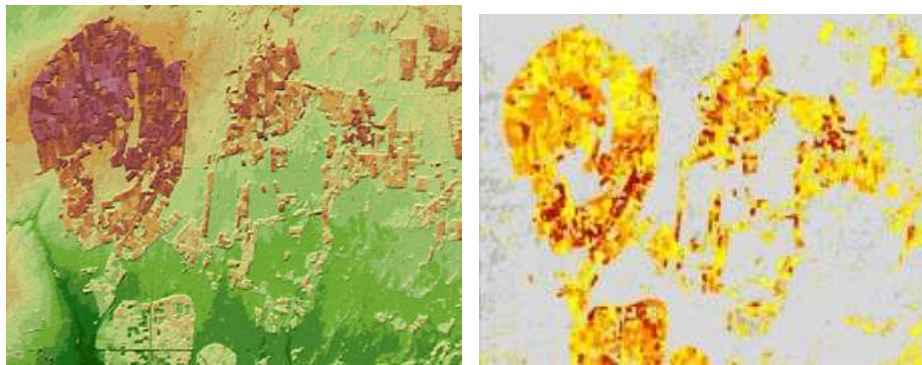
<sup>7</sup> TIN: Triangulated Irregular Network – Szabálytalan háromszögháló

mesterséges tereptárgyak nélkül. Ezt a modellre gyakran hivatkoznak úgy is, mint: csupasz földfelszínre.

Digitális terepmodellről – magyar rövidítése: DTM, angol elnevezéssel: Digital Terrain Model, rövidítése: DTM – beszélünk abban az esetben, ha a DDM információi kiegészülnek a különböző felszíni objektumok magassági jellemzőivel is.

Digitális felületmodellről – magyar rövidítése: DFM, angol megnevezéssel: Digital Surface Model, rövidítése: DSM – beszélünk akkor, ha a modell a terep (csupasz földfelszín) és a tereptárgyak felülről látható részét határozza meg, tehát figyelembe veszi a felszínborítottsági adatokat is. [3]

Mind a magyar, mind a külföldi szakirodalomra igaz, hogy nem teljesen egyértelmű ki, milyen értelemben használja az egyes elnevezéseket.



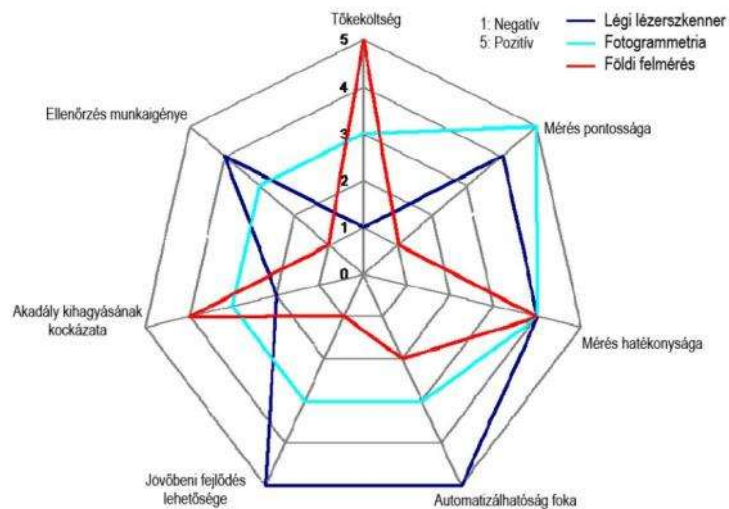
3. ábra Példa egy felületmodellre, amelyben a famagasságok színfokozatos skálán kerültek megjelenítésre [11]

Jelen munkánk esetében annyit elmondhatunk, hogy a digitális domborzatmodelleket a terepakadályok meghatározásához használtuk fel. Míg a digitális felületmodelleket az elsősorban felületszerű mesterséges akadályok, valamint az ugyancsak felületszerű növényzettel borított területek meghatározásához használtuk fel. A digitális felületmodellek automatizáltan történő létrehozásakor a pontszerű és a vonalas objektumok kiértékelésének lehetősége erősen korlátozott.

## FÖLDI FELMÉRÉS ÉS FOTOGRAMMETRIA

Az 4. és 5. ábrák mutatják, hogy az egyes területeken (Area1-4), amelyekre a repülőterek környezetében a magassági akadály-adatbázisokat ki kell alakítani, a különböző technológiák felhasználásával, milyen mérési hatékonysággal, milyen pontossággal, milyen költséghatékonysággal és kockázattal lehet a feladatot elvégezni, mind az akadályadatok tekintetében, mind a terepadatok tekintetében.

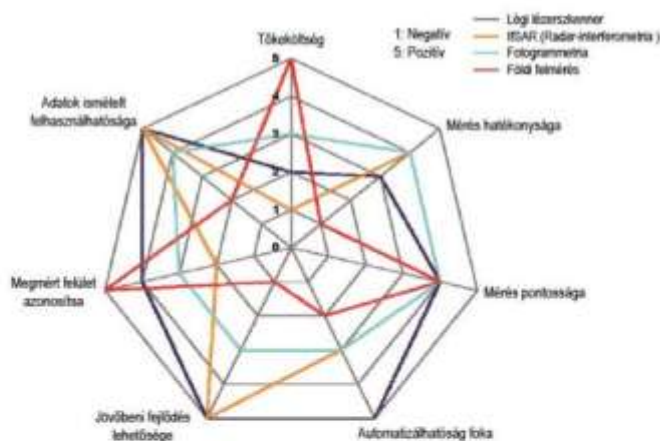
Az alábbi ábrák jól jelzik, hogy a fotogrammetriai módszerek jól használhatóak a teljes területen a terepadatok kiértékelésére valamint az Area1 és az Area2 bizonyos részein az akadályadatok közül a felületszerűek megmérésére. Míg a földi felmérési módszerek jól használhatóak az Area2, Area3 és Area4 területeken az akadályadatok megmérésére.



	Légi lézerszkennő	IfSAR	Fotogrammetria	Földi felmérés
Area 1	o/+	-	o/+	++
Area 2	++	-	+	o
Area 3	++	-	+	+
Area 4	+	-	+	++

++ műszakilag nagyon megfelelő és nagyon költséghatékony  
 + műszakilag nagyon megfelelő, de nem a leginkább költséghatékony  
 o műszakilag megfelelő, azonban rossz költség/haszon ráta  
 - nem felel meg a műszaki előírásoknak és nagyon rossz költség/haszon ráta

4. ábra Akadály-adatok felmérése különböző technológiákkal [2]



	Légi lézerszkennő	IfSAR	Fotogrammetria	Földi felmérés
Area 1	+	++	+	o
Area 2	++	++	++	o
Area 3	+ / ++	-	+ / ++	+
Area 4	+ / ++	-	+ / ++	++

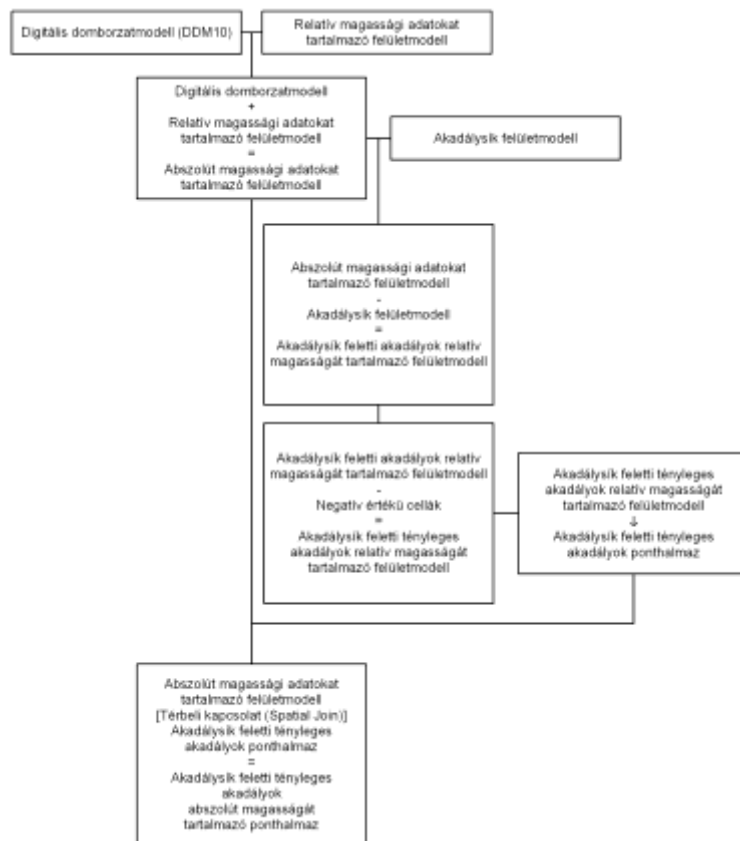
++ műszakilag nagyon megfelelő és nagyon költséghatékony  
 + műszakilag nagyon megfelelő, de nem a leginkább költséghatékony  
 o műszakilag megfelelő, azonban rossz költség/haszon ráta  
 - nem felel meg a műszaki előírásoknak és nagyon rossz költség/haszon ráta

5. ábra Terep-adatok felmérése különböző technológiákkal [2]



Az MH Pápa Bázisrepülőtér területére és környezetére elkészített magassági akadály-adatbázis kialakításakor a következő alapanyagokat használtuk fel: a HM Térképészeti NKft. Felmérő osztálya által földi felmérési módszerekkel felmért, nagy – 1: 500 méretarányúnak megfelelő – pontosságú digitális térképi adatbázist. Ebben az adatbázisban a mesterséges objektumok cm pontossággal kerültek bemérésére és ábrázolásra. A Veszprém Megyei Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Erdészeti Igazgatóságtól megkaptuk a kívánt területre vonatkozó famagasság-adatokat. A cégünk által korábban elkészített 25 méteres és 60 méteres magassági akadály-adatbázisait is felhasználtuk, amelyeket rendszeres időközönként helyszínelve karbantart, aktualizál a cégünk. Ezen kívül rendelkezésünkre áll az egész országot lefedő digitális domborzatmodell, amelynek terepi felbontása 10 méter.

Ebben az esetben elsősorban a térinformatika (GIS<sup>9</sup>) képfeldolgozási/képelemzési funkcióit használtuk ki. Az alapadatok ERDAS IMAGINE és ArcGIS Desktop 3D Analyst és Spatial Analyst szoftverekkel lettek előállítva, majd ezek használatával lettek kialakítva a végső adatbázisok.



6. ábra A munkafolyamat a magassági adatok előállításához PBRT esetében

A tulajdonképpeni munkafolyamat alapfelvetése az volt, hogy az adatok elemzését raszteres formátumban fogjuk elvégezni, ugyanis a rendelkezésre álló kiinduló adataink ezt tették lehetővé. A vektoros adatainkat raszterizáltuk – tulajdonképpen felületmodelleket állítottunk elő

<sup>8</sup> LHPA: Pápa Bázisrepülőtér

<sup>9</sup> GIS: Geographic Information System – Földrajzi Információs Rendszer

belőlük. Elvégeztük a különböző átalakításokat és a fenti ábrán látható raszter algebrai műveleteket, majd az eredményként létrejött raszteres felületmodell megfelelő pontjainak elemzésével alakítottuk ki a megrendelő – MH LVIK – által kért formátumot. Ez tartalmazta a következő – legfontosabb jellemzőket és a földrajzi azonosításhoz szükséges – mezőket: vízszintes pozíció, földrajzi szélesség és hosszúsági érték megadásával, a terep- vagy akadályadatok legmagasabb pontjának abszolút tengerszint feletti magassága, a terep- vagy akadályadat legmagasabb pontjának akadálysík feletti relatív magassága valamint az akadály jellege.

## LHKE<sup>10</sup>

A Kecskeméti MH Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis esetében a rendelkezésünkre álló kiinduló adatok a következők voltak: A cégünk által korábban elkészített 25 méteres és 60 méteres magassági akadály-adatbázisai, valamint egy 2 méteres terepi felbontású digitális felületmodell, amelynek az alapanyagául szolgáló légifelvételeket cégünk Felmérő Osztályának Légifényképész Alosztálya készítette, és amely felvételeket a Felmérő Osztály Fotogrammetriai Alosztályán, a SOCET SET NGATE<sup>11</sup> modul segítségével, automatikus kiértékelés során hoztunk létre. A repülőtér közvetlen környezetében, az Area4, Area3 és az Area2 bizonyos részein a felmérő kollégák helyszíneltek és földi felmérési eljárásokkal határozták meg az akadályadatokat.

A fotogrammetriai feladatok részeként a magasakadály-adatbázis kialakításához az érintett katonai repülőterek környezetében digitális felületmodell készült, melynek alapját 40-50 cm terepi felbontású digitális légifelvételek képezték. A digitális felületmodell 2 méteres rácstávolsággal került kialakításra. Ez a digitális felületmodell a természetes földfelszínen (Bare Earth) kívül az adott méretarányban felületi kiterjedéssel jellemezhető természetes és mesterséges objektumok abszolút magasságát tartalmazza. Formátuma lehet pontfelhő (Point Cloud), vagy szabályos rács (Grid). A digitális felületmodell a képillesztés (Image Matching) és az él-detektálás (Edge Matching) algoritmusok együttes alkalmazásával automatikus eljárással készült. Elsősorban a terepen nehezen megközelíthető erdőterületek magasságának meghatározásában jelentett nagy segítséget a felmérő kollégáknak a felületmodell. Magassági megbízhatósága átlagosan 1-1,5 méter, ami a magassági akadályadatok pontossági követelményeknek teljes mértékben megfelel.

A tulajdonképpeni munkafolyamat teljes egészében megegyezett azzal, amit az LHPA esetében láttunk az 6. ábrán. Ebben az esetben is raszteres elemzési módszereket használtunk a kiinduló adataink átalakításához és az adatbázisok létrehozásához. Hasonlóan az LHPA esetében létrehozott állományokhoz, ebben az esetben is megjelenítésre kerültek a következő attribútumok: vízszintes pozíció, földrajzi szélesség és hosszúsági érték megadásával, a terep- vagy akadályadatok legmagasabb pontjának abszolút tengerszint feletti magassága, a terep- vagy akadályadat legmagasabb pontjának akadálysík feletti relatív magassága valamint az akadály jellege.

<sup>10</sup> LHKE: MH Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis, Kecskemét

<sup>11</sup> NGATE: Next Generation Automatic Terrain Extraction – Új generációs automatikus kiértékelés



## ORSZÁGOS 60 M-ES AKADÁLY-ADATBÁZIS

Harmadik feladatunk esetében, a két katonai repülőtér kapcsán végzett munkától eltérően, nem volt szükségünk domborzatmodellekre vagy felületmodellekre, pusztán csak földi felmérési eljárások vagy éppen a meglévő adatbázisaink által tartalmazott adatok helyszínelése és aktualizálása során előállított adatokra kellett támaszkodnunk. Felhasználhattuk a cégünk által korábban elkészített 60 méteres és 100 méteres magassági akadály-adatbázist. Ugyanis a megrendelőnk a HungaroControl ZRt. azzal bízta meg cégünket, hogy készítsük el az ország területére a 60 méternél magasabb akadályok adatbázisát, kiegészítve a meglévő – földrajzi helyre, az akadályok relatív és abszolút magasságára és az akadály jellegére vonatkozó – információkat, néhány a légiközlekedés biztonsága szempontjából érdekes adattal. Ilyenek például, hogy az akadály milyen módon van megjelölve, ha fényjelzés működik rajta, annak milyen a színe, folyamatosan világít-e, stb.

Munkánk során munkatársaink 2011-ben és 2012-ben végezték el az országos adatbázis aktualizálását. Az egész ország területén valamivel több, mint 1000 db 60 méternél nagyobb relatív magasságú objektum található. Az ezekről az objektumokról gyűjtött információkat az ESRI Aeronautical Solution (Továbbiakban: EAS) segítségével egy olyan adatbázisba integráltuk, ami lehetővé teszi a megrendelő számára, hogy az adatokat egy, az AIXM<sup>12</sup>-nek megfelelő adatbázisba feltölthesse, így azokat megoszthassa más, légi navigációval, a repülés biztonságával foglalkozó szervezetekkel.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt években elvégzett munka számos tapasztalattal szolgált a cégünk számára. A magassági akadály-adatbázisok előállítása, legyen szó akár akadály- vagy épp terepadatokról, már nem ismeretlen terület számunkra, hatékonyan használhatjuk fel, mind a földi felmérések terén, mind a fotogrammetriai módszerek terén szerzett szakmai tapasztalatainkat. A munkánk során létrejött adatbázisokban igyekeztünk a megrendelő attribútumokra és az adatbázis formátumára vonatkozó kívánalmainak megfelelni.

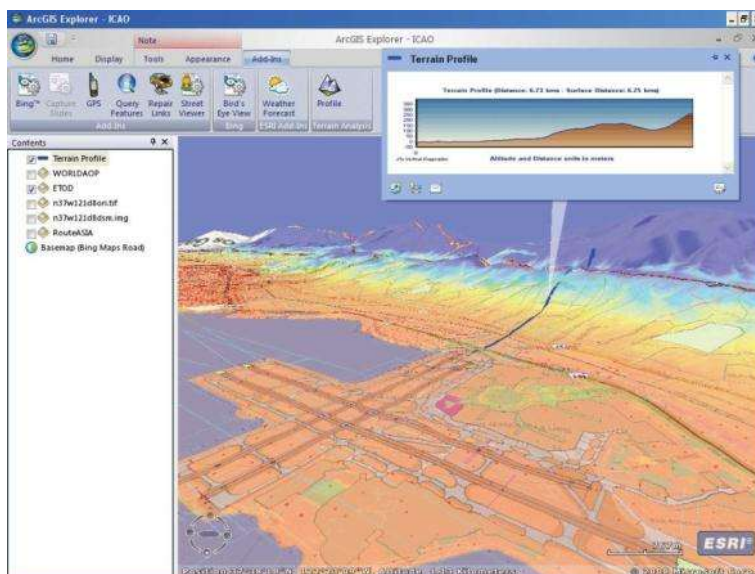
### JÖVŐBENI LEHETŐSÉGEK

A jövőben számos lehetőség kínálkozik, hogy a legújabb technológiák, új szoftverek felhasználásával hatékonyan, gyorsan, magas fokú automatizálás mellett hozzunk létre pontos, a felhasználók igényeinek megfelelő adatbázisokat. A következőkben röviden áttekintést adunk azokról a módszerekről, amelyek segíthetik a munkánkat a jövőben.

Az egyik olyan szoftvertermék, amit felhasználhatunk a jövőben az EAS. Az EAS lehetőséget biztosít a felhasználó számára, hogy előállítson és kezeljen olyan adatbázisokat és térképeket, amelyek megfelelnek a velük szemben támasztott magas követelményeknek. Civil és katonai ügynökségek, kereskedelmi légitársaságok és térképkészítő cégek számára teszi lehetővé,

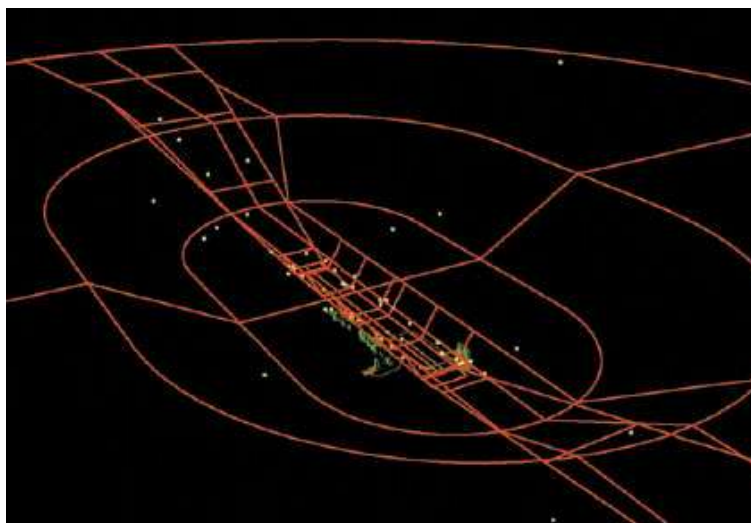
<sup>12</sup> AIXM: Aeronautical Information Exchange Model – Repülésügyi Információk Csere Modell-formátuma

hogy létrehozzon, kezeljen és felhasználjon légiforgalmi adatokat, amelyek a legújabb digitális adatokon alapulnak. A rendszer képes kezelni az ICAO<sup>13</sup> szabványokat, megosztani az adatokat az általánosan használt AIXM követelményeinek megfelelően.



7. ábra Légiforgalmi adatok az ESRI Aeronautical rendszerében (Forrás: ESRI)

A következő olyan szoftver, amelynek képességeit hatékonyan fel lehet használni az ilyen jellegű munkák során, a BAE SYSTEMS SOCET SET rendszerének ClearFlite modulja. Segítségével a felhasználó képes automatikusan előállítani az akadálysík 3D reprezentációját és a felületmodell a futópálya környezetében, képes a terepakadályokat automatikusan kiértékelni, meg tudja jeleníteni a 3D sztereo terep- és akadályadatokat bármely repülőtér környezetében, és a rendszer lehetőséget biztosít a felhasználónak a magassági adatok folyamatos követésére a 3D sztereo rendszerben, valamint az eredményeket exportálhatjuk minden jelentősebb GIS szoftverbe.



8. ábra Magassági akadály-sík a ClearFlite-ban (Forrás: BAE SYSTEMS)

<sup>13</sup> ICAO: International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Légiközlekedési Szervezet



9. ábra A magassági akadály-sík horizontális vetülete a ClearFlite-ban  
(Forrás: BAE SYSTEMS)

A fotogrammetriai módszerek terén is új technológiák jelentek meg az utóbbi időben, melyek egyrészt jelentkeznek a digitális légifényképező kamerák fejlődéséből, másrészt a képek feldolgozásában megjelenő új módszerek megjelenéséből, valamint az ún. pontfelhők előállításának új lehetőségeiből.

Az egyik ilyen új módszer az ún. Semi-Global Matching<sup>14</sup> technológia, amelynek a segítségével sztereo képpárokból, gyorsan, nagy hatékonysággal és nagy pontossággal állíthatunk elő 3D felületmodelleket. A technológia alapja, hogy a pontfelhőket, amelyek az automatikus kiértékelés során jönnek létre, nagyobb számú képből és a képek közötti nagyobb arányú átfedésből lehet előállítani.



10. ábra Példa a Semi-Global matching eljárással előállított felületmodellre [6]

<sup>14</sup> Semi-Global Matching: „Félig-Teljes” Illesztés (Egyfajta képillesztési módszer)

A másik olyan új módszer, amely az utóbbi időben egyre nagyobb teret nyer a világban, a LIDAR<sup>15</sup> technológia, vagyis a légi vagy földi lézerszkennerekkel előállított pontfelhőből generált felszínmodellek felhasználása az akadály-adatbázisok kialakításában. Ennek az előnye, hogy gyorsan, nagy pontossággal lehet felületmodelleket előállítani, hátránya egy LIDAR rendszer termelésbe állításának nagy tökeigénye.

Az utóbbi időben a pilótánélküli légi járművek (UAV<sup>16</sup>-k) használata hatalmas fejlődésen megy keresztül, kisebb súlyú, nagyobb hatótávolságú eszközök jelennek meg a piacon, amelyek egyre inkább jól használhatóak lesznek – többek között – légifelvételek készítésére is. Az UAV-k által készített felvételek feldolgozásában hatalmas lépésekkel halad a technológia, automatikusan, egyre nagyobb pontossággal készíthetők el a repülőgép által készített felvételekből a térképi alapok vagy épp a felületmodellek.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A bizottság 73/2010/EU rendelete: A légitforgalmi adatok és légitforgalmi tájékoztatások minőségével kapcsolatos követelményeknek az egységes európai égbolt keretében történő meghatározásáról (2010. január 26.)
- [2] Aeronautical Information Services - Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation 13th Edition (ISBN 978-92-9231-500-9)
- [3] BÓDIS Katalin: Digitális domborzatmodellek és alkalmazási lehetőségeik az árvízi kockázatelemzésben (Szeged, Földtudományi Doktori Iskola, 2008)
- [4] FRITSCH, Dieter (Ed.): Photogrammetry Week '11 (ISBN 978-3-87907-507-2)
- [5] Earth Imaging Journal 2005 March / April, Vol. 2 . No. 2.
- [6] HIRSCHMÜLLER, Heiko: Semi-Global Matching – Motivation, Developments And Application, PhoWo. 2011.)
- [7] KRAUS, Karl: Fotogrammetria (ISBN 963-85129-9-7)
- [8] Magyar Közlöny 70. szám II. kötet (HU ISSN 0076-2407)
- [9] SIRISTYE Ferenc - ZBORAY Zoltán: Digitális domborzatmodellek készítése katonai térképészeti célokra – in: Domborzatmodell alkalmazások Magyarországon, HUNDEM 2004 konferencia közleményei, Miskolc, 2004. nov. 11-12. – Miskolci Egyetem, Természetföldrajz-Környezettan Tanszék, CD (ISBN 963 661 686 8)
- [10] Terrain and Obstacle Data Manual (Draft 1.0) – 2010. jún. 07
- [11] ZBORAY Zoltán: Felszínmodellek katonai alkalmazási lehetőségei – in: Távérzékeléssel nyert adatok a geoinformációs támogatás rendszerében, Katonai Geoinformációs Konferencia 2007 közleményei, Budapest, 2007. dec. 13. – Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálat, CD (ISBN 978 963 06 3641 4)

---

<sup>15</sup> LIDAR: Light Detection And Ranging – Lézeres Távérzékelés

<sup>16</sup> UAV: Unmanned Aerial Vehicle – Pilótánélküli Légi Jármű

Prof. Dr. Szabolcsi Róbert<sup>1</sup>

## A VARIÁCIÓSZÁMÍTÁS ÁLTALÁNOS, ELFAJULT FELADATÁNAK MEGOLDÁSA<sup>2</sup>

*A szerző célja bemutatni a variációszámítás általános, elfajult feladatának megoldását. A feladat matematikai megfogalmazása után megadja az extremum létezésének szükséges, és elégséges feltételeit, valamint a bizonyításhoz szükséges tételeket, és segédteteleket.*

### SOLUTION OF THE CLASSICAL PROBLEM OF CALCULUS OF VARIATIONS

*The aim of the author is to present solution of the classical problem of the calculus of variations. After problem statement necessary and sufficient conditions of the existence of extremum of the given function, lemmas are summarized.*

## I. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK, SZAKIRODALMAK BEMUTATÁSA

A variációszámítás matematikai elméleti összefüggéseit az [1][2][3][4][5][6][7][8] irodalmak mutatják be, míg a variációszámítás területéről példákat az [1][2][3][4][9] irodalmak mutatnak be. Az [1] irodalom a gyakorlati alkalmazások területén főleg a pilóta nélküli légijárművekre, és az űrrakétákra koncentrál. A [9] irodalom a pilóta nélküli légijárművek extrémális pályatervezését mutatja be.

## II. A VARIÁCIÓSZÁMÍTÁS ELFAJULT FELADATÁNAK BEMUTATÁSA

Vizsgáljuk meg a variációszámítás elfajult feladatát, tekintsük adottnak a következő funkcionált [1]:

$$\frac{dz}{dx} + \varphi(x, y, z) \frac{dy}{dx} + \Psi(x, y, z) = 0, \quad (2.1)$$

az alábbi kezdeti feltételek mellett:

$$z = z_0, \text{ ha } x = x_0 \quad (2.2)$$

Legyen az  $y(x)$  függvény megengedett, az alábbi kezdeti, és végfeltételek mellett:

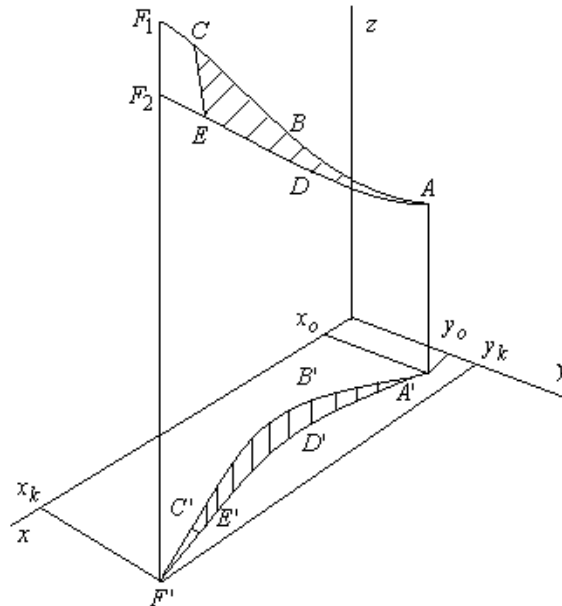
$$y(x_0) = y_0, \quad y(x_k) = y_k \quad (2.3)$$

Feltételezzük, hogy a  $\varphi(x, y, z)$ , és a  $\Psi(x, y, z)$  függvények folytonosak, és differenciálhatóak, az  $x, y, z$  független változók szerinti első differenciálhányadosok folytonosak, és a két függvény az  $y, z$  változók szerint kétszer differenciálhatóak.

<sup>1</sup> NKE HHK KÜLI Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék. Email: szabolcsi.robort@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

Vizsgáljuk a variációsszámítás feladatát az 1. ábrán. Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy az  $Oxy$  síkban az  $A'$  pontból az  $F'$  pontba történő eljutás navigációs feladata az  $Oxyz$  térben az  $ABCF_1$ , vagy az  $ABD F_2$  vonalakon történő mozgást jelenti. A  $Oxyz$  térben az  $AB$ , az  $AD$ , a  $CF_1$ , és a  $CF_2$  térbeli pályáívek határolták az  $S_1$  területet. Az  $Oxy$  vízszintes síkban az  $A'B'$ , az  $A'D'$ , a  $C'F'$ , és az  $E'F'$  térbeli pályaszakaszok határolták az  $S_2$  területet.



1. ábra (Készítette: Szabolcsi, R.)

Az 1. ábrán látható pályáíveket minden egyes esetben, az  $y(x)$ , és a  $z(x)$  függvények folytonossági feltételeiből szokás meghatározni, amelyek segítségével az integrálás állandói meghatározhatóak [1]. A (2.1) egyenlet - a (2.2) kezdeti feltételek mellett - lehetővé teszi az  $y(x)$  függvénytől függő  $z_k$  funkcionál meghatározását. E feladat abban tűnik ki, hogy a fenti függvény (kapcsolat) explicit módon nem írható fel.

Cseréljük fel szerepükben az  $y(x)$  és a  $z(x)$  függvényeket, valamint vezessük be az alábbi kezdeti feltételeket,

$$y(x_0) = y_0 \quad (2.4)$$

és peremfeltételeket:

$$z(x_0) = z_0; z(x_k) = z_k \quad (2.5)$$

További vizsgálataink során feltételezzük, hogy az  $\frac{1}{\varphi(x, y, z)}$ , és az  $\frac{1}{\psi(x, y, z)}$  függvények ugyanazon tulajdonságokkal rendelkeznek, mint az  $\varphi(x, y, z)$ , és az  $\psi(x, y, z)$  függvények. Ebben az esetben feltételezzük, hogy a (2.4) kezdeti feltételekkel megadott (2.1) egyenlet a  $z(x)$  egyenleten implicit alakban adja meg az  $y_k = y(x_k)$  funkcionált. Fogalmazzuk meg most a variációsszámítás feladatát:

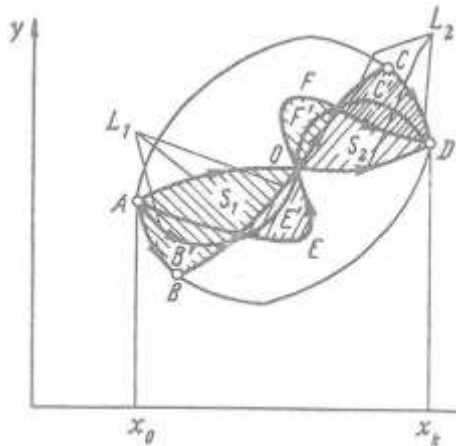
*A megengedett függvények osztályán határozzuk meg azt az  $y(x)$  függvényt, amely biztosítja a (2.2) kezdeti feltételekkel megadott  $z_k$  funkcionál maximális (minimális) értékét [1][6][7][8].*



Hasonló módon, a megengedett  $z(x)$  függvényeken keressük a (2.4) kezdeti feltételekkel megadott  $y_k$  funkcionál maximális (minimális) értékét.

### III. A $Z_K$ FUNKCIONÁL ELSŐ ÉS MÁSODIK VARIÁCIÓINAK SZÁMÍTÁSA.

Vizsgáljuk meg az  $Oxyz$  térben két lehetséges függvényt, amelyek közötti távolságot jelölje  $\delta r(x)$ , amelynek komponensei  $\delta y(x)$ , és  $\delta z(x)$ . A  $\delta r(x)$  vektorok összessége a két függvény között lineáris felületet alkot, amelynek a vízszintes síkra képzett vetületét vizsgáljuk meg a továbbiakban (2. ábra).



2. ábra (Forrás: РАБИНОВИЧ, Б. И. [1])

A térbeli pályák vízszintes síkra vetített nyomvonalait jelölik az  $ABOCD$ , és az  $AB'E'OF'C'D$  vonalak (2. ábra). Kiindulva a (2.1) funkcionálból, határozzuk meg a  $z_k$  funkcionál növekményét, ha az  $ABOCD$  vonalról áttérünk az  $AB'E'OF'C'D$  vonalra:

$$\Delta z_k = \sum_i \iint_{S_1^i} \Phi(x, y, z) dx dy - \sum_j \iint_{S_2^j} \Phi(x, y, z) dx dy \quad (3.1)$$

$$\Phi(x, y, z) = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{y=\text{áll.}} - \frac{\partial \Psi}{\partial y} \Big|_{x=\text{áll.}} \quad (3.2)$$

A (3.2) egyenlet alapján igazak továbbá az alábbi összefüggések is [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{y=\text{áll.}} &= \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{y=\text{áll.}, z=\text{áll.}} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{y=\text{áll.}} \\ \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=\text{áll.}} &= \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Big|_{x=\text{áll.}, z=\text{áll.}} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=\text{áll.}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

A (2.1) funkcionál alapján felírható, hogy:

$$\frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{y=\text{áll.}} = -\Psi; \quad -\frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=\text{áll.}} = -\varphi \quad (3.4)$$

A (3.2) egyenlet, figyelembe véve a (3.3)-(3.4) egyenleteket, a következő alakban is felírható:

$$\Phi(x, y, z) = \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \frac{\partial \Psi}{\partial y} + \varphi \frac{\partial \Psi}{\partial z} - \Psi \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (3.5)$$

A (3.5) egyenlet alapján könnyen belátható, hogy a (3.5) egyenlet nem függ az  $y'(x)$ , vagy a  $z'(x)$  deriváltaktól.

Határozzuk meg a  $\Delta z_k$  funkcionál  $\delta y$  variációhoz számított növekmény fő részét, a közelítést másodrendű tagokkal elvégezve. Vezessük be az alábbi jelöléseket [1, 3]:

$$\begin{aligned} y(x) - y^o(x) &= \eta(x) \\ z(x) - z^o(x) &= \zeta(x) \end{aligned} \quad (3.6)$$

ahol  $y^o(x)$ , és  $z^o(x)$  a kezdeti vonalaknak felelnek meg, míg az  $y(x)$ , és a  $z(x)$  hozzájuk közeli függvények.

Az  $\eta(x)$  és a  $\zeta(x)$  függvények az alábbi egyenlőtlenségi korlátozások alá esnek:

$$\begin{aligned} 0 &\leq |\eta(x)| \leq |\delta y(x)| \\ 0 &\leq |\zeta(x)| \leq |\delta z(x)| \end{aligned} \quad (3.7)$$

A  $\Phi(x, y, z)$  függvényt írjuk fel a következő alakban [1][2][3][4][5][6]:

$$\Phi(x, y, z) = \Phi[x, y, z, (y)] = \Phi(x, y^o, z^o) + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_{x=\text{áll.}, y=y^o} \eta(x) + O(\rho^2) \quad (3.8)$$

ahol a (3.4) feltételeknek megfelelően:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_{x=\text{áll.}, y=y^o} &= \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_{x=\text{áll.}, z=\text{áll.}} + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_{x=\text{áll.}, y=\text{áll.}} \frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=\text{áll.}} \right) \Big|_{y=y^o} = \\ &= \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{y=y^o} ; \rho = \sqrt{\eta^2 + \zeta^2} \end{aligned} \quad (3.9)$$

A fenti megfontolások alapján a (3.1) egyenlet – másodrendű közelítéssel - a következő módon is megadható [1][3]:

$$\Delta z_k = \int_{x_o}^{x_k} \Phi(x, y, z) \delta y dx = \frac{1}{2} \int_{x_o}^{x_k} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \delta y^2 dx = \delta z_k + \delta^2 z_k \quad (3.10)$$

A  $z_k$  funkcionálnak a megengedett  $y(x)$  függvény deriváltjához számított első, és második variációja – a (3.10) egyenlet alapján – most a következő egyenletekkel adható meg [1, 3]:

$$\delta z_k = \int_{x_o}^{x_k} \Phi(x, y, z) \delta y dx \quad (3.11)$$

$$\delta^2 z_k = \frac{1}{2} \int_{x_0}^{x_k} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \delta y^2 dx \quad (3.12)$$

A  $z_k$  funkcionál extremumának számítása a (3.1), és a (3.10)-(3.12) egyenletek alapján történik.

Könnyen belátható, hogy a (2.1) egyenletet felírva a

$$\frac{dy}{dx} + \varphi^*(x, y, z) \frac{dz}{dx} + \Psi^*(x, y, z) = 0 \quad (3.13)$$

alakban,

és, figyelembe véve a (2.4) kezdeti, és a (2.5) peremfeltételeket, a  $\Delta y_k$  funkcionál a következő összefüggéssel adható meg:

$$\Delta y_k = \sum_i \iint_{S_1^i} \Phi^*(x, y, z) dx dy - \sum_j \iint_{S_2^j} \Phi^*(x, y, z) dx dy \quad (3.14)$$

ahol:

$$\Phi^*(x, y, z) = -\frac{1}{\varphi^2} \Phi(x, y, z) \quad (3.15)$$

#### IV. A $Z_K$ FUNKCIONÁL EXTREMUMÁNAK SZÜKSÉGES ÉS ELÉGSÉGES FELTÉTELEI

Feltételezzük, hogy a megengedett függvények osztályára teljesül, hogy a keresett vonalak végei a  $\Phi = 0$  felületen fekszenek, más szóval,

$$\begin{aligned} \Phi(x_0, y_0, z_0) &= 0 \\ \Phi(x_k, y_k, z_k) &= 0 \end{aligned} \quad (4.1)$$

##### 4.1. 1. Tétel

A  $z_k$  funkcionál *gyenge* maximuma létezésének feltétele az alábbi összefüggéssel adható meg [1][3][8]:

$$\Phi(x, y, z) = 0; \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{\Phi=0} \leq 0 \quad (4.2)$$

A  $z_k$  funkcionál *gyenge* minimuma létezésének feltétele az alábbi összefüggéssel adható meg [1][3][8]:

$$\Phi(x, y, z) = 0; \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{\Phi=0} \geq 0 \quad (4.3)$$

A fenti feladat lehetővé teszi megoldást a folytonos első deriválttal rendelkező folytonos

függvények osztályán.

Ha a  $z_0$ , az  $y_0$ , és az  $y_k$  kezdeti feltételek mellett a keresett extrémális végpontjai nem esnek a  $\Phi(x, y, z) = 0$  felületre, más szóval, a (4.1) kezdeti feltételek nem teljesülnek, akkor vizsgáljuk meg a következő tétel teljesülését.

#### 4.1. 2. Tétel

A  $z_k$  funkcionál *gyenge* maximuma létezésének szükséges feltétele, ha a keresett extrémális részben a nyitott  $S$  tartományban helyezkedik el [1, 3]:

$$\Phi(x, y, z) = 0; \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{\Phi=0} \leq 0 \quad (4.4)$$

Az  $S_0$  tartomány  $C$  határvonala mentén vesz fel értéket az extrémális, akkor igazak az alábbi egyenlőtlenségek [1][3][4][5][6]:

$$\Phi(x, y, z) \geq 0, \text{ ha } \delta y < 0 \quad (4.5. a)$$

$$\Phi(x, y, z) \leq 0, \text{ ha } \delta y > 0 \quad (4.5. b)$$

ahol  $\delta y$  az adott határvonalon megengedett első variáció.

A  $z_k$  funkcionál *gyenge* minimuma létezésének szükséges feltételei az alábbiak:

$$\Phi(x, y, z) = 0; \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{\Phi=0} \geq 0 \quad (4.6)$$

$$\Phi(x, y, z) \leq 0, \text{ ha } \delta y < 0 \quad (4.7. a)$$

$$\Phi(x, y, z) \geq 0, \text{ ha } \delta y > 0 \quad (4.7. b)$$

Az előző két tétel a (3.11), és a (3.12) variációk alapösszefüggéseiből, és értelméből is következik. A (3.10) variációnövekmény egyenlete alapján bebizonyítható a következő tétel is.

#### 4.1. 3. Tétel

A  $z_k$  funkcionál *erős* maximuma létezésének szükséges feltétele, ha a keresett extrémális részben a nyitott  $S$  tartományban helyezkedik el [1, 3]:

$$\Phi(x, y, z) = 0; \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{\Phi=0} < 0 \quad (4.8)$$

Az  $S_0$  tartomány  $C$  határvonala mentén vesz fel értéket az extrémális, akkor igazak az alábbi egyenlőtlenségek [1][3][4][5][6]:

$$\Phi(x, y, z) > 0, \text{ ha } \delta y < 0 \quad (4.9. a)$$

$$\Phi(x, y, z) < 0, \text{ ha } \delta y > 0 \quad (4.9. b)$$

ahol  $\delta y$  az adott határvonalon megengedett első variáció.

A  $z_k$  funkcionál erős minimuma létezésének szükséges feltételei az alábbiak:

$$\Phi(x, y, z) = 0; \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{\Phi=0} > 0 \quad (4.10)$$

$$\Phi(x, y, z) < 0, \text{ ha } \delta y < 0 \quad (4.11. a)$$

$$\Phi(x, y, z) > 0, \text{ ha } \delta y > 0 \quad (4.11. b)$$

ahol  $\delta y$  az adott határvonalon megengedett első variáció.

Ha  $\varphi = \varphi(z)$ , vagyis  $\varphi$  nem függ az  $x$  és az  $y$  független változóktól, akkor a (4.8) feltétel az alábbi alakban is felírható [1][2][3][4][5][6][7][8]:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Psi}{\partial z} = 0 \quad (4.12)$$

$$\left( \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) \Big|_{\Phi=0} < 0, \quad (4.13)$$

ahol:

$$\Psi = \frac{\psi}{\varphi}; \quad \Phi = \frac{1}{\varphi} \frac{\partial \psi}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial z} + \frac{\psi}{\varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (4.14)$$

Összehasonlítva a (3.1) és a (3.14) egyenleteket megállapíthatjuk, hogy a  $z_k$  funkcionál (3.2) és (3.3) feltételek mellett meghatározott maximuma létezésének feltételei megegyeznek az  $y_k$  funkcionál minimuma létezésének feltételeivel [1][2][3].

A 3. tétel teljesülése mellett, feltételezzük, hogy a  $z = f(x, y)$  függvény eleget tesz a  $\Phi[x, y, f(x, y)] = 0$  egyenletnek, valamint mindkét független változó tekintetében szigorúan monoton, és  $\Phi > 0$  esetén a  $z = f(x, y)$  felület felett, míg  $\Phi < 0$  esetén a  $z = f(x, y)$  felület alatt halad. Feltételezzük továbbá, hogy a megengedett  $y(x)$  függvényosztályra a  $z(x)$  monoton.

Vezessük be a következő jelöléseket:

1)  $y = y_o^*$  legyen a

$$\Phi(x_o, y, z_o) = 0 \quad (4.15)$$

egyenlet gyöke;

2)  $y = y_k^*$  legyen -  $x = x_k$  esetére - az  $y = y_o^*$ ,  $x = x_o$ ,  $z = z_o$  kezdeti feltételek mellett a

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dx} + \varphi(x, y, z) \frac{dy}{dx} + \psi(x, y, z) &= 0 \\ \Phi(x, y, z) &= 0 \end{aligned} \quad (4.16)$$

egyenlet parciális megoldása.

Az extrémális mozgáspályák jellege függ a kezdeti pont  $x_o, y_o$ , a végpont  $x_k, y_k$  koordinátáinak az  $x_o, y_o^*$ , és az  $x_k, y_k^*$  koordinátájú pontok helyzetétől, más szóval, rögzített végpontú  $x_k, y_k$  koordináták esetére a kezdeti pont és a  $\Phi(x, y, z) = 0$  felület egymáshoz képest felvett helyzetétől.

Az extrémális mozgás pályán történő mozgás jellegét a kezdeti és a végpont

$$\Phi(x, y) = 0 \quad (4.17)$$

egyenlettel megadott vonalhoz képest felvett helyzete határozza meg. [1][2][3]

## V. ÖSSZEFOGLALÁS, EREDMÉNYEK

A légi járművek pályatervezése során gyakran törekszünk az extrémális pályán történő repülésre. Ezzel lehetővé válik olyan repülési-, és navigációs feladatok megoldása, mint a repülés a legrövidebb idő alatt, repülés a legrövidebb úton, repülés a legnagyobb távolságra, repülés minimális energiafelhasználással, repülés a legkisebb repülési magasságon. A kisméretű pilóta nélküli légi járművek repülése általában alacsony repülési magasságon valósul meg, ahol fennáll a veszélye a természetes-, és a mesterséges tereptárgyakkal való összeütközés veszélye. A pályatervezés során akár több tényezőt is figyelembe kell venni, és ebben az esetben, háttérbe szorulhat pl. a minimális energiafelhasználással végrehajtott repülés követelménye, és előtérbe kerül az összeütközés kizárását, vagy annak valószínűségét minimaláló repülési pályák tervezése. Különösen fontos ez abban az esetben, ha az UAV üzemeltetése olyan repülőtérrel történik, ahol más légi járművek is használják a légteret.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] РАБИНОВИЧ, Б. И. *Вариационные режимы полета крылатых летательных аппаратов*, Машиностроение, Москва, 1966 (orosz nyelven).
- [2] CSÁKI, F. *Korszerű szabályozásmélelet. Nemlineáris, optimális, és adaptív rendszerek*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970.
- [3] KÓSA, A. *Variációszámítás*, 2. javított kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1973.
- [4] KORN, G. A. - KORN, T. M *Matematikai kézikönyv műszakiaknak*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [5] BRONSTEIN, I. N., SZEMENGYAJEV, K. A. *Matematikai zsebkönyv mérnökök és mérnökhallgatók számára*, 5. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [6] БРОНШТЕЙН, И. Н. - СЕМЕНДЯЕВ, К. А. *Справочник по математике*, Москва, Наука, 1986 (orosz nyelven).
- [7] КРАСОВСКИЙ, А. А. (Под ред.) *Справочник по теории автоматического управления*, Москва, Наука, 1987 (orosz nyelven).
- [8] PROF. DR. SZABOLCSI, R.: A variációszámítás alapösszefüggései, és gyakorlati alkalmazása, Szolnoki Tudományos Közlemények XV, HU ISSN 2060-3002, pp(1-15) 2011.  
[http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2011/cikkek/Szabolcsi\\_Robert.pdf](http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2011/cikkek/Szabolcsi_Robert.pdf)
- [9] PROF. DR. SZABOLCSI, R.: UAV extrémális repülési pálya számítása, Szolnoki Tudományos Közlemények XV, HU ISSN 2060-3002, pp (1-7), 2011.  
[http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2011/cikkek/Szabolcsi\\_Robert\\_2.pdf](http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2011/cikkek/Szabolcsi_Robert_2.pdf)



Tuba Zoltán<sup>1</sup> – Antal Krisztina<sup>2</sup>

## A CSAPADÉK HALMAZÁLLAPOT VÁLTOZÁS ÉS A REPÜLÉSRE VESZÉLYES JELENSÉGEK KAPCSOLÓDÁSI PONTJAINAK BEMUTATÁSA EGY ESETTANULMÁNYON KERESZTÜL<sup>3</sup>

*Téli időszakban az előrejelző tiszt számára egy melegfront érkezésekor talán a legnagyobb kihívást a várható csapadék halmazállapotának és típusának előrejelzése jelenti. A pontos előrejelzés az ilyen meteorológiai szituációkban is kiemelt fontosságú, ugyanis a szóba jöhető csapadék típusok a repülések biztonságos végrehajtását korlátozó további veszélyes jelenség(ek)et, vagy egyéb meteorológiai paraméterek repülést veszélyeztető irányú megváltozását generálhatják. Esettanulmányunk a 2011. február 17-i időjárási szituációt dolgozza fel. Ennek során célunk nem csak a nagytérségű meteorológiai helyzet bemutatása, hanem a feltételezett vertikális hőmérsékleti profil reprodukciója és az adott repülőtéri szituációban a kapcsolódó veszélyes jelenségek leírása is. A részletes elemzés alapján elmondható, hogy még a kevésbé veszélyesnek tűnő csapadék típusok is hordozhatnak repülést veszélyeztető jelenségeket közvetlen környezetükben.*

### **A CASE STUDY ON THE MEETING POINTS OF PHASE TRANSITION OF PRECIPITATION TYPES AND HAZARDOUS IN-FLIGHT WEATHER PHENOMENA**

*In the wintertime the accurate forecast of precipitation type may be the greatest challenge for a military forecaster during a prefrontal weather situation. In this case the most precise forecast is very important, because the different precipitation types and the connected hazardous weather phenomena can be a potential threat for flight safety. Our case study is based on the weather situation of 17 February 2011. Our primary goal is not only to represent the current synoptic pattern, but to reproduce the hypothetical vertical temperature profiles and the connected weather hazards. On the basis of the detailed analysis we can declare that some precipitation types which seem less dangerous could carry a potential weather hazard in their vicinity.*

## BEVEZETÉS

Téli melegfront átvonulásakor az előrejelzőt gyakran kihívás elő állítja a változatos csapadék halmazállapot előrejelzése és annak az előrejelzésekben való prezentálása. Bár a felszínre érkező csapadék halmazállapotát és típusát döntően a vertikális hőmérsékleti eloszlás és annak változásai határozzák meg, sok egyéb, gyakran nem elhanyagolható hatás játszhat szerepet annak alakításában. Cikkünkben egyrészt szeretnénk rámutatni néhány példával a lehetséges befolyásoló tényezőkre, az előrejelzés során alkalmazható módszerekre és a halmazállapot változást generáló változások kicsinységére, másrészt szeretnénk kiemelni, hogy az egyes csapadék típusok vertikális változásai milyen veszélyeket hordozhatnak magukkal. Végrehajtva mindezt egy esettanulmány és a repülési feladatok végrehajtását befolyásoló paraméterek változásainak bemutatásával.

<sup>1</sup> csoportparancsnok, MH 86. Szolnok Helikopter Bázis Meteorológiai Csoport, tubazoltan.met@gmail.com

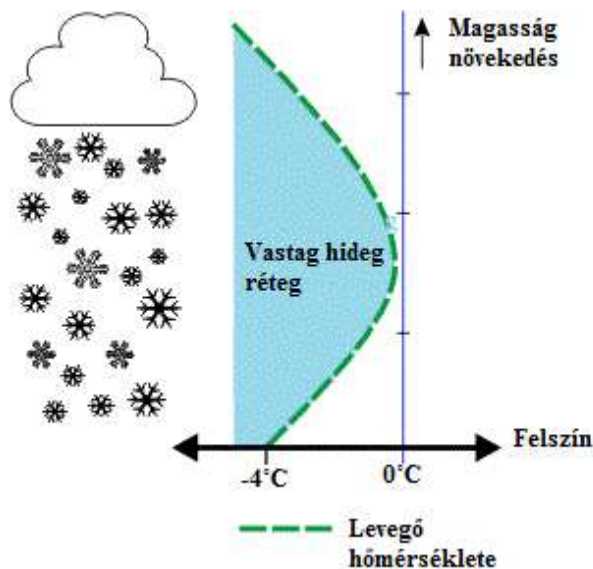
<sup>2</sup> meteorológus tiszt, MH LVIIK Meteorológiai Központ, antal.kriszti.gabi@gmail.com

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

## A TÉLI MELEGFRONT ÉS CSAPADÉK TÍPUSAI

Mindenekelőtt tekintsük át, hogy egy olyan szituációban, amely tipikusan kedvez a változatos csapadék halmazállapotoknak, hogyan zajlik egy melegfront átvonulás a téli hónapokban. Ilyen esetekben a Kárpát-medencét hideg, a felszín közelében  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb hőmérsékletű levegő tölti ki. Gyakran az ilyen időjárási helyzeteket hideg légpárnás, vagy ahhoz közeli légrétegződésű szituáció előzi meg. Az érkező ciklon előoldalán a magasban a hőmérséklet és a harmatpont értékei közelíteni kezdik egymást, jelezve a melegebb, nedves légtömeg érkezését. A talajon már a melegfrontot megelőző, jellegzetes kelet-délkeleti áramlás van jelen, a légnyomás lassan csökkenni kezd. A front fokozatos közeledésével, a frontálzóna mentén a nedvesség egyre alacsonyabb rétegekben is megjelenik. A magas szintű felhőzet után, középmagas, majd alacsony szinten is megkezdődik a felhőképződés. Először a cirrusok (Ci), cirrostratusok (Cs) jelennek meg, majd a fronthoz közeledve altostratus (Ac), altostratus (As), aztán a vastag nimbostratus (Ns) felhőzet következik. A középmagas szintű felhőzetből már a felszínre elérő csapadék is hullhat. A frontvonal megérkezése előtt megjelenik az alacsony szintű stratus (St), stratocumulus (Sc) felhőzet is esetenként akár  $90\text{ m}$  alatti felhőalappal. Ha a szél nem túl erős, a téli hónapokban a front előtt a lehulló csapadék párolgásának hatására prefrontális párolgási köd is kialakulhat. A front átvonulásával általában a szél az előbbieken említett kelet-délkeleti irányból, délnyugatra fordul, a hőmérséklet pedig emelkedésnek indul. A csapadék fokozatosan megszűnik és a nagytérségű felhőképző folyamatok hiányában a felhőzet is elkezd feloszlani.

Most térjünk rá, hogy a melegfront átvonulásával miként alakul a vertikális hőmérsékleti profil és ezekhez a változásokhoz milyen csapadék halmazállapotok és típusok társulhatnak. Tehát a melegfront érkezésekor a meleg levegő felsiklik a sűrűbb hideg levegőre. Ez a felsikló meleg, nagy nedvességtartalmú levegő adiabatikusan elkezd hűlni és harmatpontjának elérésekor megkezdődik a kondenzáció és a jégkristályok képződése.



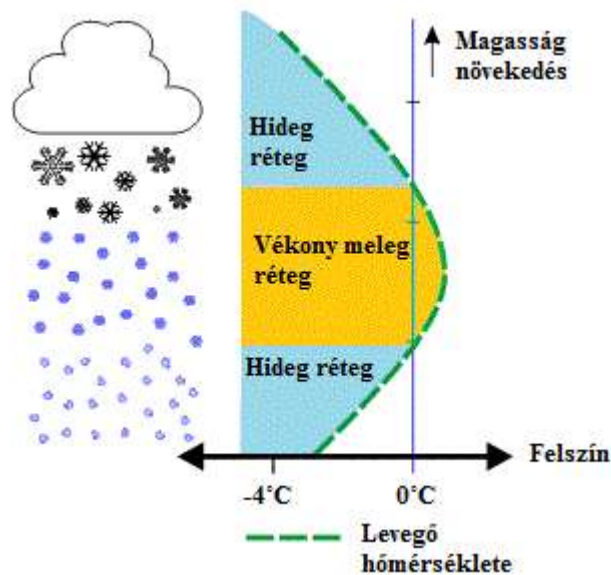
1. ábra A havazás (SN) kialakulásához szükséges vertikális rétegződés sematikus ábrája [13]

Ezek a jégkristályok a nedves környezetben növekedésnek indulnak és a nedvességtartalomtól, valamint a környezet hőmérsékletétől függően különböző méretű hópelyhek képződnek.



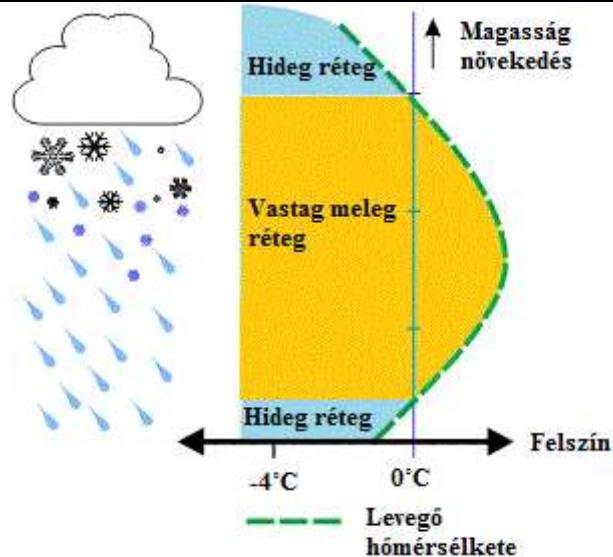
Mikor a méretük eléri a kritikus méretet és a gravitáció győz a feláramlásokkal szemben, megkezdődik a csapadékhullás. Ha a függőleges hőmérsékleti profil a talajig fagypont alatt marad, a hópelyhek változatlan állapotban, havazás formájában érik el a felszínt. Ennek a sematikus vázlatát látható az 1. ábrán. Abban az esetben is havazás várható, ha a magasban megjelenő olvadási réteg, amely inverziós réteg legmelegebb részének környezetében jelentkezik, nem elég vastag, így nincs elegendő idejük a hópelyheknek elolvadni.

Amennyiben az előbb is említett olvadási réteg kellően vastag és/vagy meleg, akkor az azon áthulló hópelyhek olvadásnak indulnak. Az, hogy az olvadás teljes vagy csak részleges lesz, elsősorban a réteg vastagságától és átlaghőmérsékletétől függ. Mivel a talaj közeli légréteget még fagypont alatti, hideg levegő tölti ki, a felszínt elérő csapadék nagy valószínűséggel fagyott eső vagy ónos eső lesz. Fagyott eső (PL) akkor keletkezik, ha az olvadási réteg alatt a talaj közelében kellően vastag a fagyási réteg, ahhoz hogy a cseppek újra megfagyjanak földet érés előtt (2. ábra). Az olvadási és fagyási folyamatot a hópelyhek megfelelő mérete is elősegítheti.



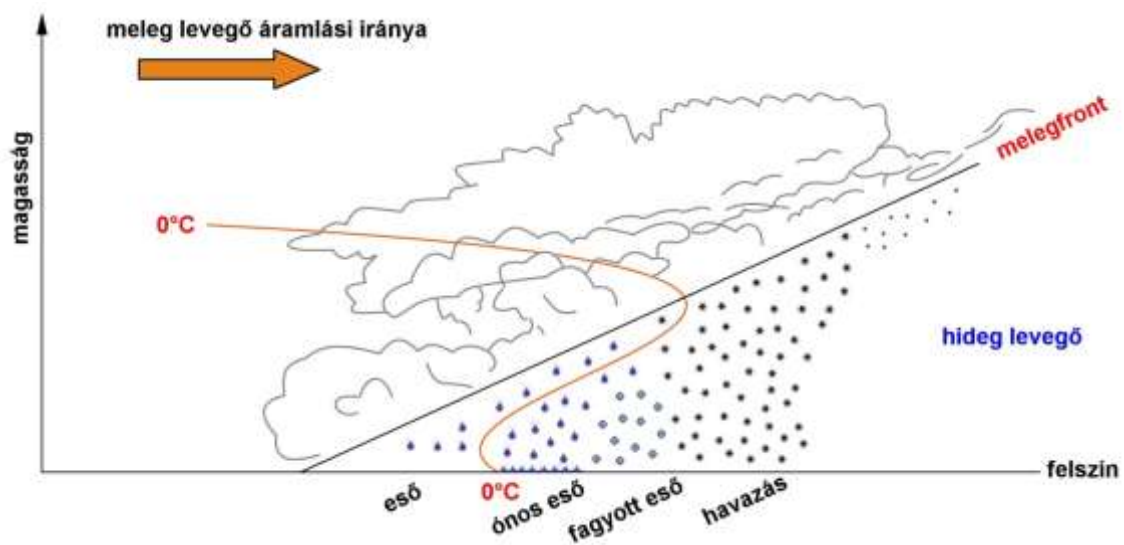
2. ábra A fagyott eső (PL) kialakulásához szükséges vertikális rétegződés sematikus ábrája [13]

Ha a felszín közeli hideg réteg nem elég vastag a fagyáshoz, akkor a túlhűlt cseppek a fagypontnál hidegebb hőmérsékletű talajjal vagy tereptárgyakkal ütközve ráfagynak annak felszínére (3. ábra). Ezt a csapadék típust nevezzük ónos esőnek (FZRA). Ónos eső inkább a nagyobb cseppméretű és gyorsan hulló hidrometeorokból képződik. Ritkán előfordulnak olyan esetek is, hogy 0 °C feletti talajhőmérséklet esetében is a felszínre fagy a túlhűlt csapadék, azonban ez a folyamat a felszín és a tereptárgyak nagyobb hőkapacitása miatt csak ideiglenes. A fagyott és az ónos eső, csak abban az esetben hullik tartósan, halmazállapot, vagy csapadék típus váltás nélkül, ha alacsony szintű hideg advekciónak van jelen, ami gyakran társul a topográfia okozta hideg csatornával, vagy völgyekben rekedt hideg levegővel.



3. ábra Az ónos eső (FZRA) kialakulásához szükséges vertikális rétegződés sematikus ábrája [13]

A frontfelület a front érkezésével egyre alacsonyabbra kerül és ezzel a melegedés tovább folytatódik a magasabb rétegek felől a talaj irányába. Egy idő után olyan vastaggá válik a meleg réteg, hogy a hópelyhek azon áthaladva teljesen elolvadnak és esőcseppként érik el a talajt. Amennyiben az olvadás csak részleges, vegyes halmazállapotú csapadéokra számíthatunk.



4. ábra Melegfront érkezésekor a csapadék halmazállapotának és típusának tipikus változásai

A 4. ábra jól szemlélteti a melegfront átvonulásakor lejátszódó csapadék halmazállapot és típus változásokat, valamint a 0 °C-os izoterma egy tipikus megjelenési lehetőségét.

A téli melegfrontok érkezésekor előforduló csapadék típusok kialakulása, ha viszonylag sematikus is, de egyszerűen magyarázható. Mindezek ellenére miért is jelent problémát a téli hónapokban a csapadék előrejelzés? A válasz egyszerű, ugyanis a különböző meteorológiai mezők és csapadék karakterisztikák igen kis eltérései is gyors váltásokat okozhatnak, mind térben, mind időben, a különböző csapadék típusok között. Ráadásul ezek a változások gyakran csak lokális hatásokra visszavezethetően, ideiglenes jelleggel fordulnak elő. A talajon észlelt csapadék állapot a légkör számos tulajdonságától függ, mint például a hőmérséklet,

nedvesség eloszlás, a vertikális mozgások, a felhő- és csapadékelemek méret eloszlása, a csapadék intenzitása, stb. Mindezeknek a pontos előrejelzésére szükség van tehát, hogy magát a csapadék típusát is pontosan előrejelezhessük. Nyilvánvaló, hogy éppen a kétséges szituációkban nő meg a szerepe az olyan folyamatok jelenlétének is, amelyek skálája és rendje a numerikus előrejelzési modellek felbontása közelében vagy az alatt van. Ugyanakkor elmondhatjuk, hogy a csapadék típusát befolyásoló tényezők közül elsődleges fontosságú a hőmérsékleti profil függőleges alakulása. Ugyanis bizonyos esetekben a hőmérséklet igen kis megváltozása halmazállapotbeli változást okozhat. Tehát pontos vertikális hőmérsékleti profil előrejelzés szükséges, hogy pontosan meghatározható legyen a csapadék típusa. Habár a hőmérséklet az egyik legfontosabb paraméter, a megfelelő csapadék típus előrejelzésekor több légköri paramétert számításba kell venni.

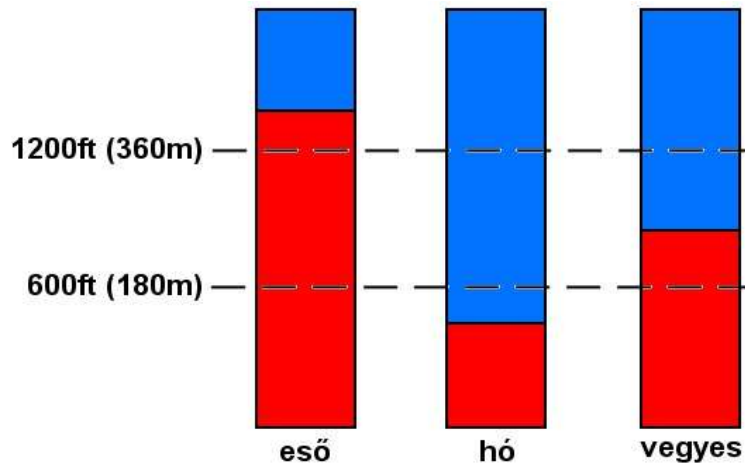
Stewart and King (1987) tanulmányukban rámutattak, hogy a felszínen észlelhető csapadék halmazállapot kialakításában a csapadékelemek mérete is fontos szerepet játszhat. Például megfelelően kis cseppméret esetén a havazásnak kedvező hőmérsékleti viszonyok között is ónos szitálás alakulhat ki, mivel nem képződnek jégkristályok. [14]

Esetenként az is meghatározó lehet, hogy az olvadási folyamat során, az olvadás hőjét von el környezetétől az olvadási rétegben (melting effect). Ezáltal a környezet hőmérséklete csökkeni fog, ami extrém esetben oda vezethet, hogy az olvadási réteg  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os izoterm réteggé alakulhat, ami az olvadási folyamat végét eredményezheti. [7] Ez a hatás egy nagyságrenddel kisebb – azaz másodrendű folyamat – a többi advekciónál, amelyek az alsó réteg hőmérsékletét és a földet érő csapadék típusát befolyásolják. Ez a hőelvonás akkor játszhat fontos szerepet, ha a légkörben gyenge advekciónál vannak, tartós és minél intenzívebb csapadék van jelen, ugyanis a folyamat egyenesen arányos a csapadék intenzitásával, valamint a felszín hőmérséklete  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  közelében van. Ekkor ugyanis nagyobb esély van arra, hogy a folyamatnak látható jele van a felszínre érkező csapadék állapotában. [9] Az olvadási folyamat generálta hőmérséklet csökkenés ráadásul más meteorológiai mezőkben is okozhat mezoskálájú perturbációt, mint például a nyomás és a szél. [1][10] Akár még a frontogenetikus folyamatok módosításában is szerepet játszhat, ha az olvadási réteg a felszín közelében van. [5][11]

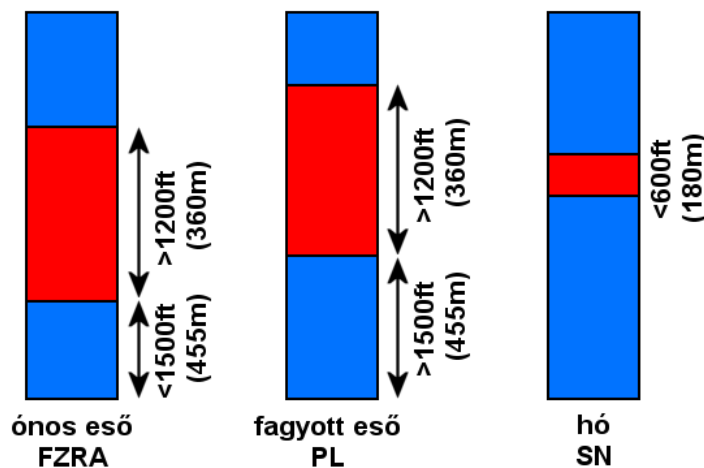
A csapadék típusának előrejelzésekor alapvetően két megközelítést szoktak alkalmazni. Az egyik egy mikrofizikai almodell megalkotása, amelynek nagy számítási igénye és a kezdeti, valamint peremfeltételekben való bizonytalansága korlátozza az operatív használatát. A másik lehetőség, statisztikai kapcsolat keresése egy adekvát adatbázis elemei alapján. Általában ebben az esetekben olyan prediktorokat használnak, amelyek arányosak az adott földrajzi pont felett található levegő egyes, a prediktandusz szempontjából, szignifikáns rétegeinek átlagos vastagságával és hőmérsékletével. Megfelelő kapcsolat esetén ez akár egy egyszerű eljárással beilleszthető a numerikus modellekbe is. Számos operatív statisztikai technikát kifejlesztettek a csapadék típusának meghatározására, most tekintsük át ezekből néhányat.

Derouin (1973) módszere az egyes olvadási és fagyási rétegek vastagságát alkalmazza prediktorként. Az eljárás maximálisan 3 réteg felhasználását teszi lehetővé [6]. Fő hiányossága, hogy csak a rétegvastagságokat veszi figyelembe, a vertikális hőmérsékleti eloszlást azonban nem. A módszert jelenleg is oktatják és használják az USAF előrejelzői. Az 5. ábrán lát-

hatók az egy, a 6. ábrán pedig a több fagyási réteget feltételező hőmérsékleti rétegződés esetén használatos rétegvastagság értékek és a hozzájuk tartozó csapadék típusok. [12]



5. ábra Egy fagyási réteget feltételezve a várható csapadék típusok és a szükséges rétegvastagságok



6. ábra Több fagyási réteget feltételezve a várható csapadék típusok és a szükséges rétegvastagságok

Egy a hazánkban is alkalmazott módszert Cantin és Bachand (1993) fejlesztett ki, relatív topográfia értékeket használva prediktorként. [4] Az RT1000/850 mezőt az alacsonyabb rétegek, az RT850/700 mezőt pedig a magasban lévő rétegek vizsgálatára. Ezeket az értékeket a vizsgált réteg átlaghőmérsékletének jellemzésére lehet felhasználni. Ha az RT850/700 vastagsága nagyobb, mint 1540 m, akkor ez általában azt jelzi, hogy a vizsgált rétegben van 0 °C-nál melegebb rész. Amennyiben az RT1000/850 vastagsága 1300 m-nél kevesebb, a felszín közelében 0 °C alatti hőmérsékletnek kell jelen lennie. A hazai viszonyokat figyelembe véve Hirsch (2000) kimutatta, hogy pl. az eső és a hó elkülönítésére az 1300 m-es RT850/1000 a legalkalmasabb. A módszer hátránya, hogy csak az adott réteg átlagos hőmérsékletét veszi figyelembe, a hőmérséklet eloszlását azonban nem. [8]

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál Babolcsai (2011) RT850/1000 hPa-os relatív topográfián alapuló új eljárását használják biztató eredményekkel az operatív gyakorlatban, amely azonban egyéb mezők értékeit (pl.: 850 hPa-os szint hőmérséklete, felszíni harmatpont hőmérséklet) is prediktorként használja. Az új meteorológiai paraméterek prediktorként való bevonásával a hőmérséklet vertikális eloszlásával kapcsolatos információt és egyéb folyamatok (pl.: melting

process) hatását is beleviszi az előrejelzésbe. A Magyar Honvédségnél az eljárás alkalmazhatóságának sajnos határt szab a megfelelő vizualizációs programcsomag (HAWK3) hiánya. [2]

Bourgouin 2000-ben egy új prediktort alkotott meg a különböző csapadék fajták meghatározására. A prediktor az aerológiai diagram által leírt területtel van kapcsolatban. A hőmérsékleti profil és a 0 °C-os hőmérséklet által kijelölt, zárt területeket pozitív és negatív területekként definiálta. Alapgondolata hogy, két paraméterrel a réteg átlaghőmérsékletével és az adott (hideg/meleg) rétegen való átesési idővel meghatározható a csapadék típusa. Az átesési idő ismeretében hiányában, állandó vertikális mozgást és állandó esési sebességet feltételez. Ebben az esetben az átesési idő csak a réteg vastagságától függ, ami egyszerűen kiszámítható a vertikális hőmérsékleti profilból. Az új prediktor tehát az átlaghőmérséklet és a rétegvastagság szorzatával fejezhető ki, ami arányos a tephigramon, vagy más termodinamikai diagramon kijelölt területtel. Így a pozitív és negatív terület prediktorként használható a csapadék típusok statisztikai meghatározásához. A tanulmány eredményei szerint a kidolgozott módszer hatékonyabb az összehasonlításban részt vevő, széles körben alkalmazott korábbi eljárásoknál. [3] A későbbiekben bemutatandó esettanulmány során ezt a módszert alkalmazzuk, konkrét számítások nélkül, kizárólag a rétegződés tendenciózus minőségi elemzésére.

## A CSAPADÉK TÍPUSOK ÉS A REPÜLÉSRE VESZÉLYES JELENSÉGEK KAPCSOLÓDÁSI PONTJAI

A korábbiakban arról volt szó, hogy a hőmérséklet vertikális rétegződésétől függően milyen csapadék halmazállapotok és típusok fordulnak elő a felszínen. Nem szabad azonban arról elfeledkeznünk, hogy a repülés a hagyományos közlekedési formákkal ellentétben a harmadik dimenziót is használja. Ebből az következik, hogy nem elég a csapadék típusok horizontális változékonyságával foglalkoznunk, tekintetbe kell vennünk a vertikális változásokat és a hozzájuk kapcsolódó potenciális veszélyeket. Ha az 5. és 6. ábrára visszatekintünk, könnyen észrevehetjük, hogy az egyes típusokhoz tartozó függőleges hőmérsékleti profilok jelentős hasonlóságokat, esetenként átfedéseket mutatnak. Ez alapján levonható a konzekvencia, hogy eső és vegyes halmazállapot esetén az olvadási réteg felső részében, ahol az olvadás még nem kezdődött meg, a csapadék hó formájában van jelen. Az olvadás kezdetével, normális hőmérsékleti rétegződés esetén, a magasság csökkenésével párhuzamosan a csapadékon belül a szilárd halmazállapot aránya is csökken. Repülési feladatok végrehajtásakor ilyen esetekben a hó arányának növekedésével, azaz a repülési magasság növelésével a horizontális, a vertikális és a ferde látástávolság gyorsan romolhat, a látás kútszerűvé válhat és a jegesedés is potenciális veszélyhelyzetet teremthet. Az ónos eső és a fagyott eső esetében az olvadási rétegtől felfelé a rétegződés visszavezethető az előbbi esetre, azaz a magasság csökkenésével csökkenő hóarányra. Általában ezekben a szituációkban az olvadási réteg kellően vastag ahhoz, hogy a szilárd halmazállapotú csapadék teljesen elolvadjon, ritkán azonban ez az olvadási folyamat csak részleges és akkor olyan téli vegyes (wintry mix) csapadék képződhet, amely a korábban említett típusok közül bármelyikek kombinációját tartalmazhatja. Visszatérve az ónos és a fagyott eső alapkérdéséhez, az olvadási réteg alatt egy fagyási réteg helyezkedik el, amelyben a hulló cseppek először túlhűltté válnak. Ebben az állapotukban a cseppek a tereptárgyak vagy a repülőgépek fagyos felületén, az azokkal való ütközés után rövid időn belül megfagynak. Az

ilyen körülmények esetén előforduló jegesedés intenzitása az esetek többségében a jégtelenítő berendezések előírászerű üzemeltetése mellett sem kontrollálható. Amennyiben a fagyási réteg kellően vastag, úgy a magasság csökkenésével a folyékony halmazállapot aránya folyamatosan csökken, mígnem az ónos eső teljesen átmelegszik. Bár a fagyott eső a felszínen kevésbé veszélyes és tűnik veszélyesnek, a repülés nem elhanyagolható 3 dimenziós volta miatt, már kis magasságokban is rendkívül erős jegesedés kísérheti. Hiszen ebben az esetben, a fagyási réteg felső részében túlhűlt, ónos csapadék található. Még veszélyesebbé teheti a szituációt, ha a repülőgép a felszínről közelíti meg ezt a jegesedési réteget. Ezekben az esetekben ugyanis a vertikális hőmérsékleti profil a felszín közelében leggyakrabban erős inverziós rétegződést mutat, azaz a légijármű felszínének hőmérséklete még alacsonyabb, ami a jégakkréciót tovább gyorsíthatja.

Összességében elmondható, hogy a felsorolt csapadék típusok mindegyikénél ugyanaz a kettő, a repülési feladatok biztonságos végrehajtását veszélyeztető jelenség jelenthet problémát. Egyrészt a látástávolság olyan mértékű csökkenése, amely a repülés során alkalmazott eljárások megváltoztatását (pl. VFR, IFR, EIV, BIV) követelheti meg, és/vagy a pilóták jártasságának vagy a repült géptípusnak megfelelő időjárási minimum értékek átlépését okozhatja. Másrészt a specifikus magasságokban mindegyik felszíni csapadék típus esetén előfordulhat gyengétől, kontrollálhatatlan erősségűig jegesedés, amely különösen nagy veszélyt jelenthet mind forgószárnyas, mind pedig merevszárnyas repülések esetén.

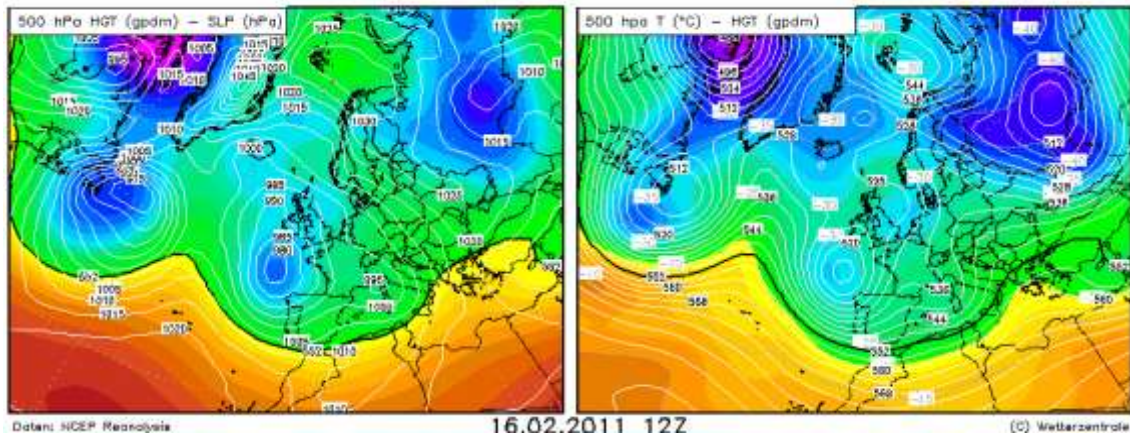
	Eső		Hó		Havaseső		Ónos eső		Fagyott eső	
	potenciális veszély	észlelt csapadék	potenciális veszély	észlelt csapadék	potenciális veszély	észlelt csapadék	potenciális veszély	észlelt csapadék	potenciális veszély	észlelt csapadék
<b>0°C alatt a magasban</b>	a horizontális, a vertikális és a ferde látás is romlik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó	a horizontális, a vertikális és a ferde látás is romlik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó	a horizontális, a vertikális és a ferde látás is romlik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó	a horizontális, a vertikális és a ferde látás is romlik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó	a horizontális, a vertikális és a ferde látás is romlik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó
<b>olvadási réteg</b>	a növekvő hó aránnyal a látás romlik, kútszerűvé válik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó, havaseső, eső	nincs jelen, vagy nem elég vastag a réteg	-	a növekvő hó aránnyal a látás romlik, kútszerűvé válik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó, havaseső	a növekvő hó aránnyal a látás romlik, kútszerűvé válik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó, havaseső, eső	a növekvő hó aránnyal a látás romlik, kútszerűvé válik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó, havaseső, eső
<b>fagyási réteg</b>	nincs jelen, vagy nem elég vastag a réteg	-	a horizontális, a vertikális és a ferde látás is romlik, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó	nincs jelen, vagy nem elég vastag a réteg	-	a csapadék miatt mérsékelt látás romlás, erős jegesedés	eső, ónoseső	a csapadék miatt mérsékelt látás romlás, mérsékelt/erős jegesedés	eső, ónoseső, fagyott eső
<b>felszín</b>	a csapadék miatt mérsékelt látás romlás	eső	intenzitástól függően a látás jelentősen romolhat, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	hó	intenzitástól függően a látás jelentősen romolhat, gyenge/mérsékelt jegesedés léphet fel	havaseső	a csapadék miatt mérsékelt látás romlás, mérsékelt/erős jegesedés	ónos eső	a csapadék miatt mérsékelt látás romlás, gyenge/mérsékelt jegesedés	fagyott eső

1. táblázat Az észlelt csapadék típusok és a velük járó potenciális veszélyek az egyes rétegekben

## ESETTANULMÁNY

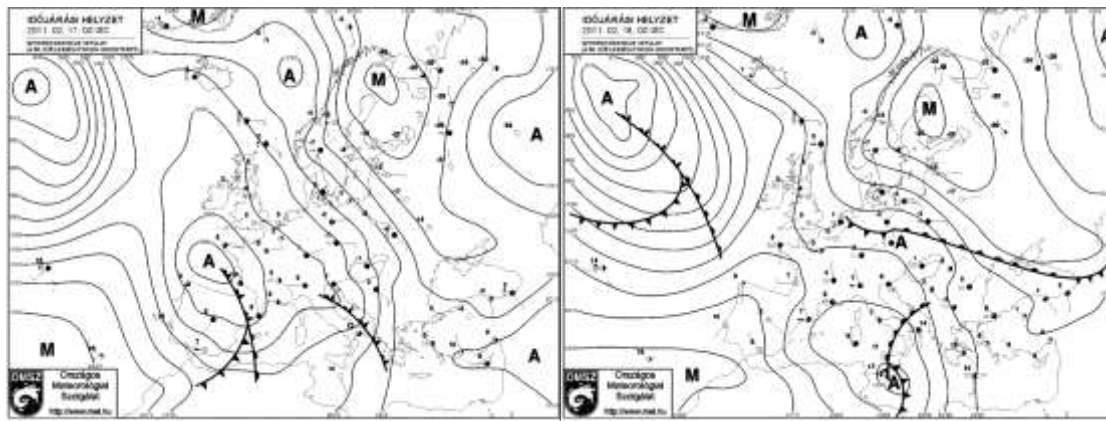
Már 2011. 02. 17-ét megelőzően is gyengén ciklonális hatások voltak jelen hazánk időjárásában. Nagy nedvességtartalmú levegő volt a közép-európai térség felett, aminek hatására az ország nagy részén erősen felhős vagy borult volt az ég és a korábbi napokban szinte mindenhol hullott kisebb mennyiségű szilárd vagy vegyes halmazállapotú csapadék. Ekkor egy, az izlandi

térségtől a Mediterrániumig húzódó több középpontú ciklonrendszer és a hozzátartozó mély magassági teknő előoldalán helyezkedett el a Kárpát-medence. A magasban azonban még egy gyenge gerinc tengelye volt felettünk, amely vizsgálatunk napjára fokozatosan keletre helyeződött át. Így térségünk a magassági gerinc hátoldali és a teknő előoldali, közös áramlási rendszerbe került. A Földközi-tenger térségéből jelentős mennyiségű nedvesség advektálódott fölénk, ami a fenti változásokkal együtt jelentősen kedvezett a frontogenetikus folyamatoknak.



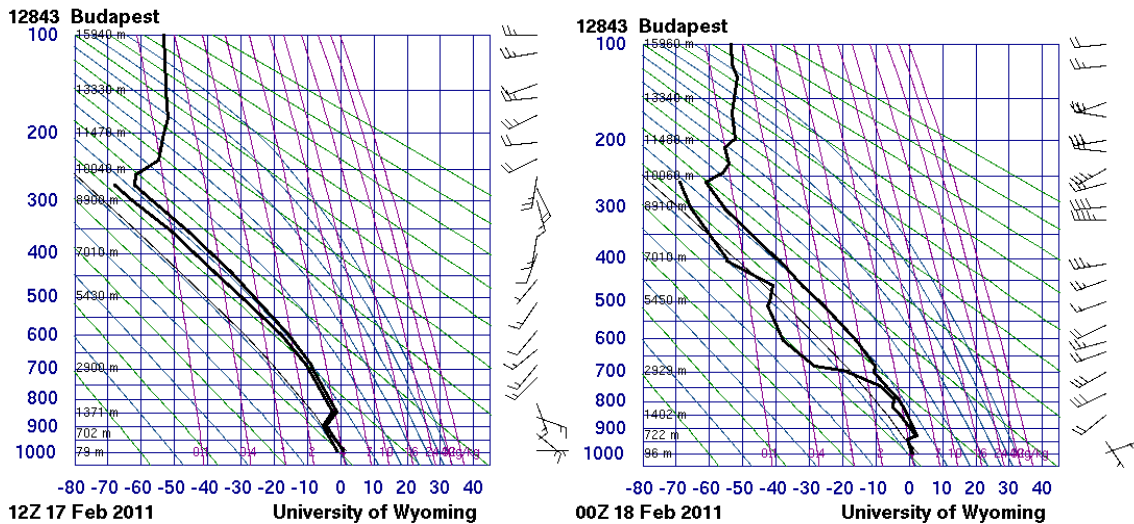
7. ábra A felszíni nyomás és az 500 hPa-os szint geopotenciál és hőmérsékleti reanalízis mezeje 2011. 02. 16-án 12 UTC-kor

Az 8. ábrán található frontanalízis térképek alapján is látható, hogy a fejlődő frontálzóna egy délnyugat-északkelet tengelyű magassági vezetéssel február 17-én áthaladt országunk felett.



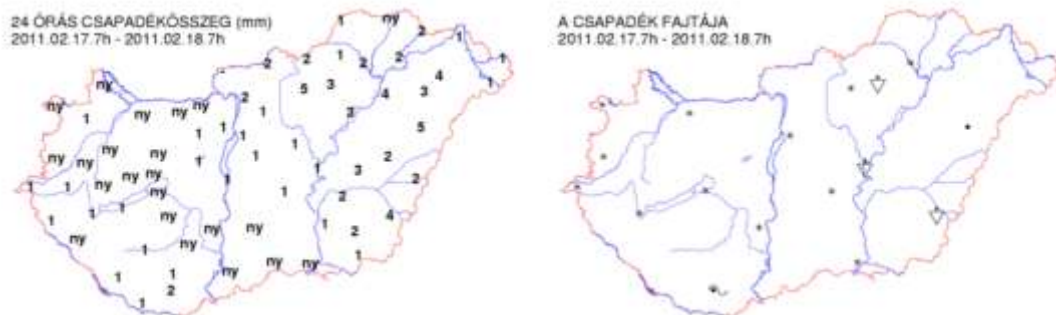
8. ábra Az OMSZ frontanalízise 2011. 02. 17-én és 18-án 00 UTC-kor

A vastag melegfronti felhőzet jelenlétét és a frontálzóna áthaladását támasztják alá a magassági szondázások adatai is (9. ábra). A február 17-i 12 UTC-s felszálláson jól látszik a frontális inverzió, a teljesen együtt futó hőmérsékleti és harmatpont profillal. A frontfelület felett jelen van a markáns délnyugati áramlás, a felső troposzféráig terjedő nagy nedvességtartalommal, alatta pedig a melegfrontot megelőző, jellegzetes kelet-délkeleti áramlás. A február 18-i 00 UTC-s adatok már a front áthaladását mutatják. A frontális inverzió már egészen a felszín közelében helyezkedik el, a magassági áramlás már közel zonális és ez a középső, valamint a felső troposzférában a nedvességtartalom jelentős csökkenését, ezzel a felhőzet feloszlását eredményezi. A 700 hPa-os szint környékén megjelenő kisebb zsugorodási inverzió pedig már a magasabb rétegekben megjelenő, gyengén anticiklonális hatások jelenlétére utal.



9. ábra A 2011. 02. 17. 12 UTC-s és a 2011. 02. 18. 00 UTC-s magassági felszállások diagramjai

Az átvonuló frontális felhőzetből országsszerte hullott csapadék, melynek típusa mind térben, mind pedig időben változatos képet mutatott (10. ábra). Volt olyan mérési időpont (08:15Z), amikor mind az öt korábban bemutatott csapadék típus szerepelt az országos gyűjtőtávirat METAR-jaiban. Szolnokon pedig előfordult a nap folyamán olyan 3,5 órás időszak (05:45Z-09:15Z), amikor 4 különböző csapadék típust (SN, PL, RA, RASN) észleltek a repülőtéren.



10. ábra Az OMSZ napijelentésének részlete 2011. 02. 18-án a napi csapadékkal és az adott napon előforduló legmagasabb SYNOP kódszámú csapadék fajtákkal

Miután a nagytérségű folyamatokat valamint a hozzájuk kapcsolódó vertikális változásokat és az országos észleléseket nagy vonalakban áttekintettük, térjünk rá egy adott meteorológiai állomás adatainak részletesebb elemzésére. A szolnoki (LHSN) észlelési adatokat a kiadott hivatalos METAR táviratok feldolgozásával vetjük vizsgálatunk alá. Mivel az elemzés során célunk a csapadék típus változáshoz kapcsolódó vertikális profil kvalitatív reprodukálása, egy a korábbiakban bemutatott elméleti eljárás segítségével, ezért a vizsgált METAR táviratok a csapadékhullás kezdetétől, annak befejezéséig terjednek. Az érintett időszak táviratai a következők voltak:

METAR LHSN 170415Z 06004MPS 9999 BKN037 OVC083 M00/M02 Q1007 TEMPO -SN RMK BLU=

METAR LHSN 170445Z 05005MPS 9999 -SN BKN033 OVC083 M00/M02 Q1007 TEMPO NSW RMK BLU=

METAR LHSN 170515Z 05004MPS 9999 -SN BKN033 OVC083 M00/M02 Q1007 TEMPO NSW RMK BLU=

METAR LHSN 170545Z 05004MPS 8000 -SN BKN033 OVC083 M00/M02 Q1007 TEMPO NSW RMK BLU=

METAR LHSN 170615Z 05004MPS 8000 -PL BKN033 OVC083 M00/M02 Q1007 NOSIG RMK BLU=





METAR LHSN 170645Z 05004MPS 8000 -PL BKN033 OVC083 M00/M02 Q1007 NOSIG RMK BLU=  
METAR LHSN 170715Z 07004MPS 8000 -PL BKN027 OVC083 00/M02 Q1007 NOSIG RMK BLU=  
METAR LHSN 170745Z 06004MPS 6000 -RA BKN022 OVC083 00/M01 Q1008 NOSIG RMK WHT=  
METAR LHSN 170815Z 04004MPS 4000 PL BKN017 OVC083 00/M01 Q1008 NOSIG RMK GRN=  
METAR LHSN 170845Z 04004MPS 4000 -PL BR BKN020 OVC083 00/M01 Q1008 NOSIG RMK GRN=  
METAR LHSN 170915Z 07005MPS 3000 RASN BR FEW013 BKN020 OVC083 01/00 Q1008 NOSIG RMK YLO=  
METAR LHSN 170945Z 07005MPS 3000 -SHSNRA BR SCT007 BKN017 OVC083 01/01 Q1008 NOSIG RMK YLO=  
METAR LHSN 171015Z 09004MPS 3000 -RASN SCT007 BKN020 OVC083 01/01 Q1008 NOSIG RMK YLO=  
METAR LHSN 171045Z 06004MPS 3000 -RASN BKN008 OVC020 02/01 Q1008 NOSIG RMK YLO=  
METAR LHSN 171115Z 08004MPS 3000 -RA BR BKN008 OVC020 02/01 Q1008 NOSIG RMK YLO=  
METAR LHSN 171145Z 07004MPS 2000 RASN BR BKN007 OVC020 01/01 Q1008 NOSIG RMK YLO=  
METAR LHSN 171215Z 08004MPS 2000 RASN BKN007 OVC020 02/01 Q1008 NOSIG RMK YLO=  
METAR LHSN 171245Z 08004MPS 1500 RASN BR BKN005 OVC015 01/01 Q1008 NOSIG RMK AMB=  
METAR LHSN 171315Z 08004MPS 1500 -RASN BR BKN005 OVC020 02/01 Q1008 NOSIG RMK AMB=  
METAR LHSN 171345Z 07004MPS 1500 -RASN BR BKN006 OVC020 02/02 Q1008 NOSIG RMK AMB=  
METAR LHSN 171415Z 08004MPS 1500 BR BKN005 OVC020 02/02 Q1008 RERASN NOSIG RMK AMB=

Mielőtt a csapadék típusok kérdésére rátérnénk, tekintsük át általánosságban, hogy az egyes paraméterek hogyan változtak a frontálzóna haladásával. A szél szinte végig K-ÉK-i irányú volt és az erőssége is csak minimálisan változott. A DNy-i irányból felvonuló felhőzettel ellentétes felszíni szél egyértelműen mutatja a frontálzóna jelenlétét. A folyamatos csapadék hatására a SYNOP táviratok tanúsága szerint a relatív nedvesség 87%-ról 97%-ra nőtt és ezzel párhuzamosan a látástávolság is folyamatosan csökkent, a csapadék megszűnésének idejére erős párásság alakult ki. A felszíni frontvonal közeledtével a felhőalap is folyamatosan csökkent és a tartós csapadék hatására BKN mennyiségű foszlány felhőzet is megjelent. A hőmérséklet és a harmatpont folyamatos, lassú emelkedést mutatott.

A csapadék gyenge havazás (-SN) formájában 04:15Z-s METAR táviratban került először jelentésre. A vonatkozó SYNOP táviratok alapján azt is tudjuk, hogy ekkor még a csapadék nem volt folytonos, 70-es jelenidőt jelentettek 05:45Z-kor. Az első váltás a csapadék típusában 06:15Z-kor következett be. A gyenge havazás megszakításokkal átment gyenge fagyott esőbe (-PL). Hó esetén a magasban lévő olvadási réteg vagy nagyon vékony, vagy egyáltalán nincs jelen. Mivel fagyott esőnél számottevő olvadási rétegre van szükség a kialakulásánál, ezért az átmenet során valószínűleg a magasban lévő pozitív terület nőtt az alatta elhelyezkedő negatív rovására. A csapadék típus megváltozását, a gyorsabb olvadás révén segítette a hópelyhek kis mérete is.

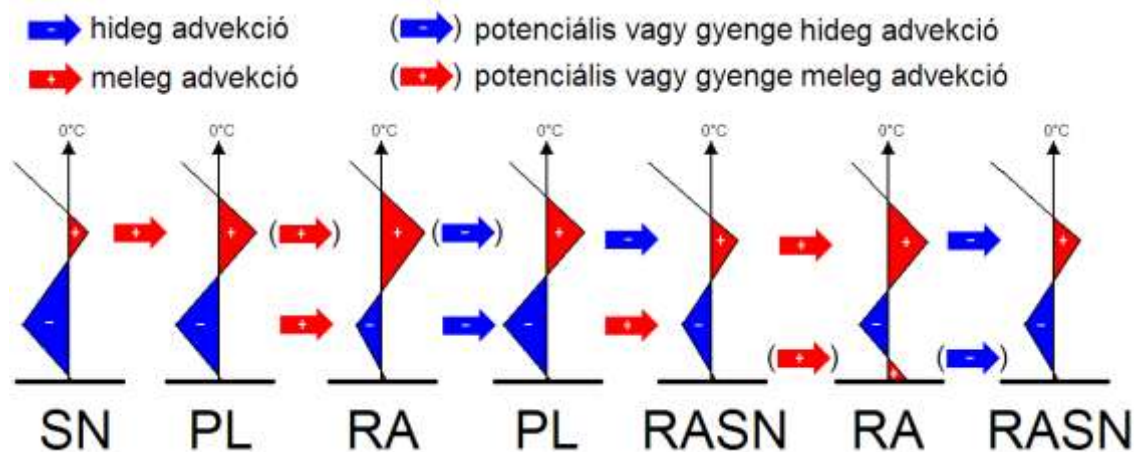
A következő csapadék típus váltás csak ideiglenes volt, kb. 1 óra időtartamra a fagyott eső gyenge esőre (-RA) váltott. Mivel a változás nem volt tartós, ezért arra következtethetünk, hogy csak lokális hőmérsékleti változások generálták vagy egymással ellentétes advekción folyamatok együttes jelenléte okozta, melyek ilyen irányú eredő hatása csak rövid ideig tartott. Feltehetőleg ebben az esetben a pozitív terület nőtt és/vagy a negatív terület csökkent

nem túl nagy mértékben, ideiglenesen. Beláthatjuk, hogy az idő rövidsége biztosan nem tette lehetővé oly mértékű változások bekövetkezését, hogy a csapadék legalább kis mértékben ne legyen túlhűt. Ekkor azonban a felszíni hőmérséklet már egy ideje a pozitív tartományban volt és valószínűleg ez akadályozta meg a cseppek felszíni fagyását.

A 09:15Z-s METAR táviratban találhatjuk a következő váltást a csapadék típusban. Az előbb mérsékelt, majd gyenge intenzitású fagyott eső mérsékelt havasesőre (RASN) váltott. Ahhoz, hogy ez a változás megvalósulhasson, több magassági szint hőmérsékleti advekciónak van szükség. Ilyen szituációban a vegyes halmazállapot létrejöttéhez a pozitív területnek csökkennie kell, hiszen az olvadás nem lehet teljes, mint a fagyott eső esetében. Ugyanakkor a negatív területnek szintén csökkennie kell, hiszen a csapadék újra fagyása a havas eső esetében már nem történik meg. Tehát különböző szinteken ellentétes irányú hőmérsékleti advekciónak kellett lezajlania a jelzett változások megtörténtéhez. A magasabb rétegekben történő hőmérséklet csökkenés esetében elképzelhető az olvadás hűtő hatásának szerepe is, hiszen a korábbiakban már ismertetett, Kain és társai által meghatározott, feltételek együttesen fennállnak. [9] Ahogyan a korábbiakban, itt is meg kell jegyeznünk, hogy a csapadék folyékony halmazállapotú része feltehetőleg kis mértékben túlhűt volt, de a felszíni hőmérséklet a kifagyást már nem tette lehetővé.

A csapadék megszűnése előtt még egy alkalommal történt ideiglenesen változás a csapadék típusában. A havaseső a 11:15Z-s METAR idejére esőre váltott. Ehhez a magasban először a pozitív területnek növekedni, majd a visszaalakulás során csökkenni kellett. A havaseső ismételt megjelenésében feltételezhetően szerepet játszott a felszíni hőmérséklet csökkenése is, ami a felszíni pozitív terület csökkenését idézhette elő.

Az 11. ábra összefoglalja a csapadék típusok egymásba alakulása során lejátszódó advekciónak folyamatokat és ehhez kapcsolódóan a pozitív/negatív területek lehetséges változásait. Az ábra arányai csak a folyamatok irányának felvázolását szolgálják, a területek nagyságának konkrét becslését nem jelentik. Az egyes nyilak az adott rétegekben lejátszódó melegedést/lehűlést szemléltetik a szokásos szín megjelölésekkel.



11. ábra A hőmérsékleti profil pozitív és negatív területeinek feltételezett változása és az adott rétegek advekciónak viszonyai

## ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben bemutattuk a téli melegfrontokhoz leggyakrabban kapcsolódó csapadék típusok kialakulásához szükséges tipikus vertikális hőmérsékleti profilokat és az azok vizsgálata során alkalmazott néhány elméleti megközelítést. Dolgozatunkban rámutattunk az egyes csapadék típusok és a repülésre veszélyes jelenségek kapcsolódási pontjaira, különös tekintettel a látástávolság és a jegesedés kérdésére. Bemutattuk, hogy a csapadék típusának térbeli megváltozásakor különös tekintettel kell lenni a vertikális változékonyságra, amely rendkívül kis távolságokon belül a repülésre fokozottan veszélyes szituációk jelenlétét eredményezheti.

Az esettanulmányunk során feldolgozott táviratok és az area módszer segítségével pedig kvalitatív becslést adtunk a vertikális hőmérsékleti profilban bekövetkezett változásokról, amelyek a csapadék típusának megváltozását okozták.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ATLAS, D., TATEHIRA, R., SRIVASTAVA, R. C., MARKER, W AND CARBONE, R. E. 1969: Precipitation-induced mesoscale wind perturbations in the melting layer, *Quarterly. Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 95, 544–560.
- [2] BABOLCSAI, GY. 2011: A 850/1000 hPa-os relatív topográfián alapuló halmazállapot előrejelzés új módszere, *Léggör Vol. 56 No. 2.*, pp. 60-64.
- [3] BOURGOUIN, P. 2000: A Method to Determine Precipitation Types, *Weather and Forecasting*, Vol.15, 583-592.
- [4] CANTIN, A., BACHAND, D. 1993: Synoptic pattern recognition and partial thickness techniques as a tool for precipitation types forecasting associated with a winter storm, *Centre Meteorologique du Quebec Tech. Note 93N-002*, 9 pp.
- [5] CARBONE, R. E. 1982: A Severe Frontal Rainband. Part I. Stormwide Hydrodynamic Structure, *Journal of the Atmospheric Sciences*. Vol. 39, 258-279.
- [6] DEROUIN, R. 1973: Experiment Forecasts of Freezing Level(s), Conditional Precipitation Type, Surface Temperature, and 50-meter Wind, Produced by Planetary Boundary Layer (PBL) Model. *NOAA Technical Procedures Bulletin 101*, 8 pp.
- [7] FINDEISEN, W, 1940: The formation of the 0°C-isothermal layer and fractocumulus under nimbostratus. *Meteor. Z.*, 6, 882–888.
- [8] HIRSCH, T.: 2000: Synoptic-climatological investigation of weather systems causing heavy precipitation in winter in Hungary, *Időjárás Vol. 104 No. 3.*, pp. 173-196.
- [9] KAIN, J. S., GOSS, S. M., BALDWIN, M. E. 2000: The Melting Effect as a Factor in Precipitation-Type Forecasting, *Weather and Forecasting*. Vol 15, 700-714.
- [10] MARWITZ, J, 1983: The kinematics of orographic airflow during Sierra storms, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol 40, 1218–1227.
- [11] MARWITZ, J., TOTH, J. 1993: The Front Range Blizzard of 1990. Part I: Synoptic and Mesoscale Structure, *Monthly Weather Review*. Vol. 121, 402-415.
- [12] MIRELES, M. R., PEDERSON K.L. CAPT, ELFORD C. H. MSGT. 2006: *Meteorological Techniques*, AFWA/TN-98/002 Revised, 2006.
- [13] Winter Precipitation Types and their Environments, url: [http://www.crh.noaa.gov/gid/?n=winter\\_wx\\_types](http://www.crh.noaa.gov/gid/?n=winter_wx_types) (2012.02.24.)
- [14] STEWART, R. E., KING, P. 1987: Freezing Precipitation in Winter Storms. *Monthly. Weather. Review*, 115, 1270–1280.



Zboray Zoltán<sup>1</sup> – Sándor Tamás<sup>2</sup> – Szipli Tamás<sup>3</sup>

## PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖKKEL KÉSZÍTETT RASZTERES TÁVÉRZÉKELÉSI ADATOK FELDOLGOZÁSA KATONAI TÉRKÉPÉSZETI ÉS FELDERÍTÉSI FELADATOKHOZ<sup>4</sup>

*A Honvédelmi Minisztérium Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft., Felmérő osztály, Fotogrammetriai alosztály együttműködésben a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálattal (MH GEOSZ) 2009. óta foglalkozik a pilóta nélküli repülőeszközök által készített raszteres távérzékelési adatok feldolgozásával. Munkánk során 2010-ben javaslatot tettünk a Magyar Honvédség SUAV felderítő rendszer lehetséges képfeldolgozási környezetére, mellyel a korábbi és jövőben előállításra kerülő videó felvételek összehasonlítására, az adatok geoinformációs adatbázisba történő tárolására nyílik lehetőség. A meglévő stereo-fotogrammetriai képességek felhasználásával kísérletet tettünk elektromos meghajtású robothelikopterrel készített légifelvételek feldolgozására is. Tanulmányunkban rövid áttekintést adunk a pilóta nélküli repülő eszközökkel készített raszteres távérzékelési adatok hardver/szoftver környezetéről, a jövőbeni felhasználás lehetséges irányairól.*

### *UAV based remote sensing raster DATA processing for military mapping and reconnaissance tasks*

*The Hungarian Ministry of Defence (MoD) Mapping Company in cooperation with the Geoinformation Service of Hungarian Defence Forces (MH GEOSZ) has been working with UAV based remote sensing raster data since 2009. In 2010 we made a proposal for a possible image data processing environment for the HDF SUAV reconnaissance system, which make an opportunity to detect changes and store the previous and further SUAV videos in geoinformation database. Based on our existing stereo-photogrammetric capabilities we also tried process some images, which made by an electric driven unmanned helicopter. In our study we give a short overview about the data processing hardware/software environments, and some possible ways of the future utilization.*

## BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőeszközök (UAV) alkalmazása a térképészet, távérzékelés, képfeldolgozás, fotogrammetria szakterületén az elmúlt években forradalmi változásokat indított el. Az előállított raszteres távérzékelési adatok, melyek lehetnek folyamatos videó-, vagy légifelvételek, a készítés és feldolgozás tekintetében is különböző eszközöket igényelnek. A hordozó eszközök hatótávolságának növekedése mellett, az érzékelő berendezések egyre nagyobb felbontású és pontosságú adatokat szolgáltatnak, mellyel a térképészeti és felderítő rendszerekben folyamatosan növekszik az információszerzés hatékonysága.

<sup>1</sup> HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft, Felmérő osztály, Fotogrammetriai alosztály, zboray.zoltan@topomap.hu

<sup>2</sup> HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft, Felmérő osztály, Fotogrammetriai alosztály, sandor.tamas@topomap.hu

<sup>3</sup> HM Térképészeti Közhasznú Nonprofit Kft, Felmérő osztály, Fotogrammetriai alosztály, szipli.tamas@topomap.hu

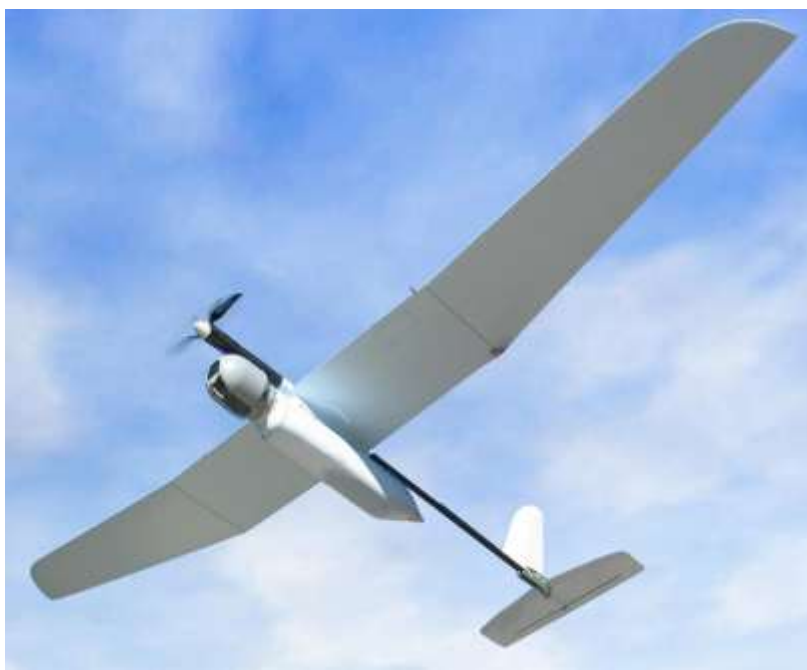
<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

A térképészeti céllal készített légifelvétel feldolgozáshoz terepi mérések, földi illesztőpontok szükségesek, amivel biztosítani lehet a szélső pontossági követelmények elérését. A felderítő rendszerekben – melyek nem igényelnek nagy helyzeti pontosságot – a videó adatok feldolgozása döntően a repülés során rögzített telemetriai adatokra támaszkodik. Mind a térképészeti, mind a felderítési feladatok esetében a legfontosabb cél – az elsődleges adatok rögzítése mellett – a változások követése és detektálása.

## ELŐZMÉNYEK

### A SUAV rendszerrel kapcsolatos feladatok

2009-2010-ben a HM Térképészeti NKft. és a MH Geoinformációs Szolgálat (GEOSZ) részt vett a Magyar Honvédség Skylark I-LE típusú kis hatótávolságú pilóta nélküli repülő felderítő rendszerének (SUAV<sup>5</sup>, 1. ábra) Csapatpróba Bizottság ülésein. A pilóta nélküli repülőeszközt kezelő személyzet felkészítésére kiadott feladattervben kutatási területként lett meghatározva az ISTAR<sup>6</sup> rendszerhez történő csatlakoztatás és felhasználás lehetőségeinek vizsgálata, melynek kapcsán javasoltuk a meglévő geoinformációs támogatás továbbfejlesztését.



1. ábra Skylark I-LE típusú kis hatótávolságú pilóta nélküli repülőeszköz

Az üléseken a SUAV missziós környezetben történő felhasználásához igény merült fel 5-10 méteres pontosságú és aktuális adatokat tartalmazó térképészeti alapanyagra, melyre nagyfelbontású (VHR<sup>7</sup>) űrfelvétel beszerzését javasoltuk. Az űrfelvétel további hasznosításával kapcsolatban elhangzott, hogy a SUAV videó felvételek elemzéséhez szükség lenne egy összehasonlító rendszerre, mely az űrfelvétel és a rögzített SUAV felvételek alapján alkalmas

<sup>5</sup> SUAV: Short-range Unmanned Aerial Vehicle, kis hatótávolságú pilóta nélküli légi jármű

<sup>6</sup> ISTAR: Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance, tudás alapú integrált felderítő rendszer

<sup>7</sup> VHR: Very High Resolution, nagyon nagy felbontású űrfelvétel (0,5-1 m) esetén szokásos megnevezés

lenne a változás-detektálásra, ami hatékonyabb IMINT<sup>8</sup> támogatást tenne lehetővé.

2010 októberében, az Afganisztáni PRT IX. váltásának hazatérését követően (melyen az első SUAV kezelő személyzet is részt vett) tapasztalati konferencia került levezénylésre, melyen ismételen felmerült az igény egy magasabb szintű képalapú támogatásra. A konferencián tájékoztatást adtunk arról, hogy a felderítés során előállításra kerülő videó adatok további feldolgozására a GEOSZ és a HM Térképészeti NKft. kezdeményezte a SUAV rendszer geoinformációs támogatásának fejlesztését. A HM HVK a fejlesztési javaslat kapcsán az érintett szakmai szervezetek képviselői részvételével szakértői konzultáció megtartását rendelte el, melyre a GEOSZ-ban került sor 2010 novemberében.

A HM Térképészeti NKft. 2011. és 2012. évi tervfeladatában a MH Geoinformációs Szolgálat igényének megfelelően elrendelte a pilóta nélküli repülőeszközök alkalmazásának kutatását katonai térképészeti feladatokhoz.

### **Javaslat a SUAV geoinformációs támogatásának fejlesztésére**

A „SUAV geoinformációs támogatásának fejlesztése” javaslat főbb elemei és céljai:

1. Geoinformációs adatbázis készítése az afganisztáni PRT bázis 15 km-es sugarú körére és egyéb kijelölt területekre nagyfelbontású (VHR) sztereó űrfelvételek alapján. A sztereó űrfelvételek fotogrammetriai feldolgozása a meglévő képességekkel és sztereó-fotogrammetriai hardver/szoftver környezet felhasználásával biztosított a HM Térképészeti NKft-ben. A feldolgozás során digitális domborzatmodell, digitális felszínmodell és nagyfelbontású ortofotó előállítása a cél. A tervezett geoinformációs adatbázis hatékonyabbá teszi a kezelő-, és felderítő személyzet munkáját a SUAV repülések megtervezése, végrehajtása és utólagos elemzése során. Az adatbázis alapján lehetséges a PRT bázis őrzés védelmével kapcsolatos terepi információk felbontásának, aktualitásának és megbízhatóságának növelése. Az új űrfelvételek alapján az ortofotók éves frissítésére tettünk javaslatot.
2. A SUAV élőkép valós idejű (real-time) szinkronizálása és földi vetületének megjelenítése az 1. pontban megfogalmazott geoinformációs adatbázis űrfelvételeivel, melynek eredményeként biztosítható az élő videó kép azonnali összevetése a korábbi űrfelvétel adatokkal. A rendszer lehetővé teszi a teljes körű tájékozódást, az azonnali összevetési lehetőséget, melyben az élőkép pozíciója, pillanatnyi helyzete (adott esetben egy ismeretlen missziós környezetben) javítja a felderítendő terület áttekintését. Különös tekintettel az éjszakai (hőkamerás) felvételekre, ahol a környezet képe a fekete-fehér színárnyalatok miatt még a nappali felvételeknél is nehezebben értelmezhető, a rendszer nagy segítséget jelenthet a kezelő-, és felderítő személyzet számára. A javasolt űrfelvétel háttér a SUAV által készített felvételek terepi felbontásához hasonló (0,5 m) raszteres térképészeti alapot biztosít.
3. A SUAV videó felvételek utófeldolgozása, georeferálása, geoinformációs adatbázisba integrálása, az előállított geoinformációs adatbázis és feldolgozó rendszer ISTAR rendszerbe történő integrálása. Az előállított geoinformációs adatbázis az ISTAR rendszeren

<sup>8</sup> IMINT: Imagery Intelligence, képalapú felderítés

keresztül hozzáférhetővé válik a Magyar Honvédség erre kijelölt szervezetei számára.

4. Összehasonlító rendszer kiépítése, mellyel lehetséges az időbeni változások kimutatása és nyomon követése. A fejlesztés célja a terepen bekövetkezett változások detektálása, melynek eredményeként a SUAV kezelő-, és felderítő személyzet hatékonyabban és gyorsabban derítheti fel a gyanús objektumokat, eseményeket, valamint lehetővé válik az olyan terepelemek, fedezékek, haditechnikai eszközök felderítése, mely a háttér úrfelvételen nem látható. E felderítési képesség kulcsfontosságú lehet a PRT bázis őrzés-védelme, egy járőr útvonal, illetve konvojkövetés alkalmával.

## UAV RASZTERES TÁVÉRZÉKELÉSI ADATOK FELDOLGOZÁSA

### Alapadatok típusa

A pilóta nélküli repülőeszközökkel készített raszteres adatok alkalmazásának területeit elsősorban a repülőeszköz által készített képi alapanyag típusa és műszaki paraméterei határozzák meg. Az alapanyagok típusa alapján két nagyobb területet különböztethetünk meg:

1. nappali-, vagy éjszakai kamerával készített FMV<sup>9</sup>;
2. kisformátumú kamerával készített digitális légifelvétel.

A különböző adattípusok és formátumok különböző célok elérését támogatják. A videó felvételek felderítési feladatokat szolgálnak, ebben az esetben a gyors információszerzés az alapvető cél. Az ilyen adatok nem igényelnek nagy terepi felbontást és helyzeti pontosságot. A videó felvételekkel történő változás-detektáláshoz azonban legalább akkora pontosságot kell biztosítani, ami lehetővé teszi két időpont geoinformációs rendszerben történő összehasonlítását.

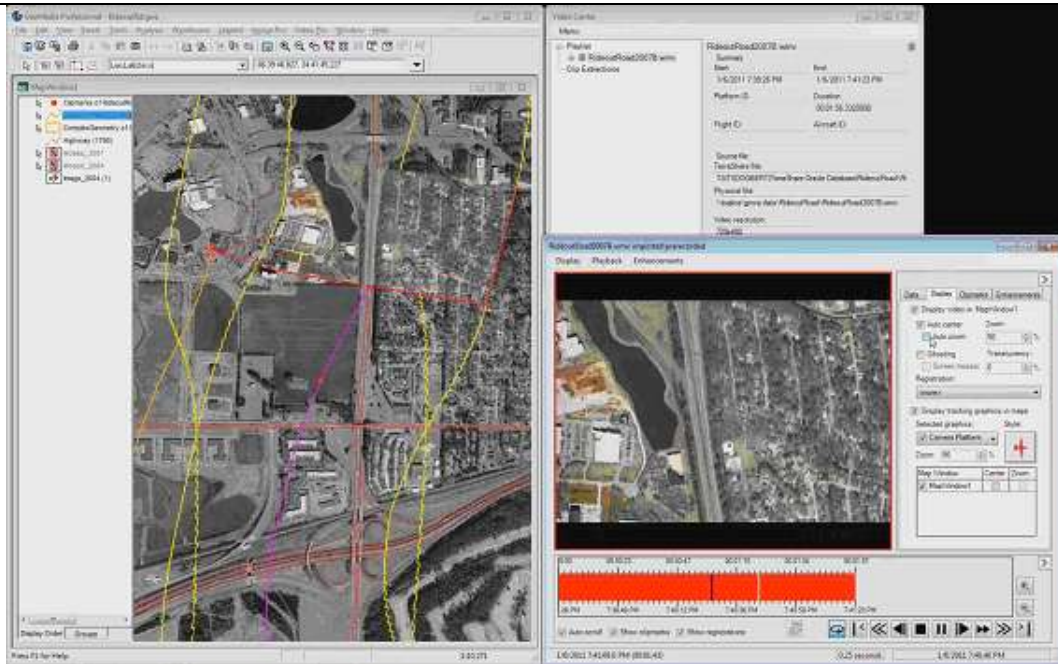
Az egyenkénti légifelvételek feldolgozásával előállított térképészeti adatok az előzőeknél sokkal nagyobb felbontást és helyzeti pontosságot igénylő térképészeti, geodéziai feladatok támogatását biztosíthatják.

E két részterület adattípusainak műszaki paraméterei, feldolgozási munkafolyamata eltérő, a feldolgozás más-más eszközöket és munkakörnyezetet igényel. A végeredményt jelentő raszteres adatok viszont egységes geoinformációs adatbázisba integrálhatók, a megjelenítés és elemzés a katonai felhasználók számára már részben ismert raszteres térinformatikai munkakörnyezetben valósítható meg.

### UAV FMV felvételek georeferálása, geoinformációs adatbázisba integrálása

A korábban megismert SUAV és más rendszerek videó felvételeinek kezelése és feldolgozása kapcsán a témával kapcsolatos kutatásaink kiterjedtek a lehetséges kezelő-, és feldolgozó környezetre, mely során megismertük az Intergraph Motion Video Exploitation (MVE) rendszerét (2. ábra). Az Intergraph 2010-ben mutatta be az MVE rendszert, mely ismereteink szerint a UAV FMV felvételek feldolgozására az egyik legjobb képességekkel rendelkező feldolgozó környezet, ami elsődlegesen katonai felhasználók számára lett kifejlesztve. Az MVE alkalmazásával megvalósítható a korábbi SUAV geoinformációs támogatás fejlesztési javaslat számos eleme.

<sup>9</sup> FMV: Full Motion Video, élőképet biztosító videó folyam (stream), mely MPEG formátumban kerül rögzítésre



2. ábra Az MVE grafikus felülete (balra, nagy ablak), és egy UAV FMV felvétel (jobbra, kis ablak). A fekete-fehér háttér úrfelvételen a színes videó minden képkockája a megfelelő földrajzi pozícióba kerül

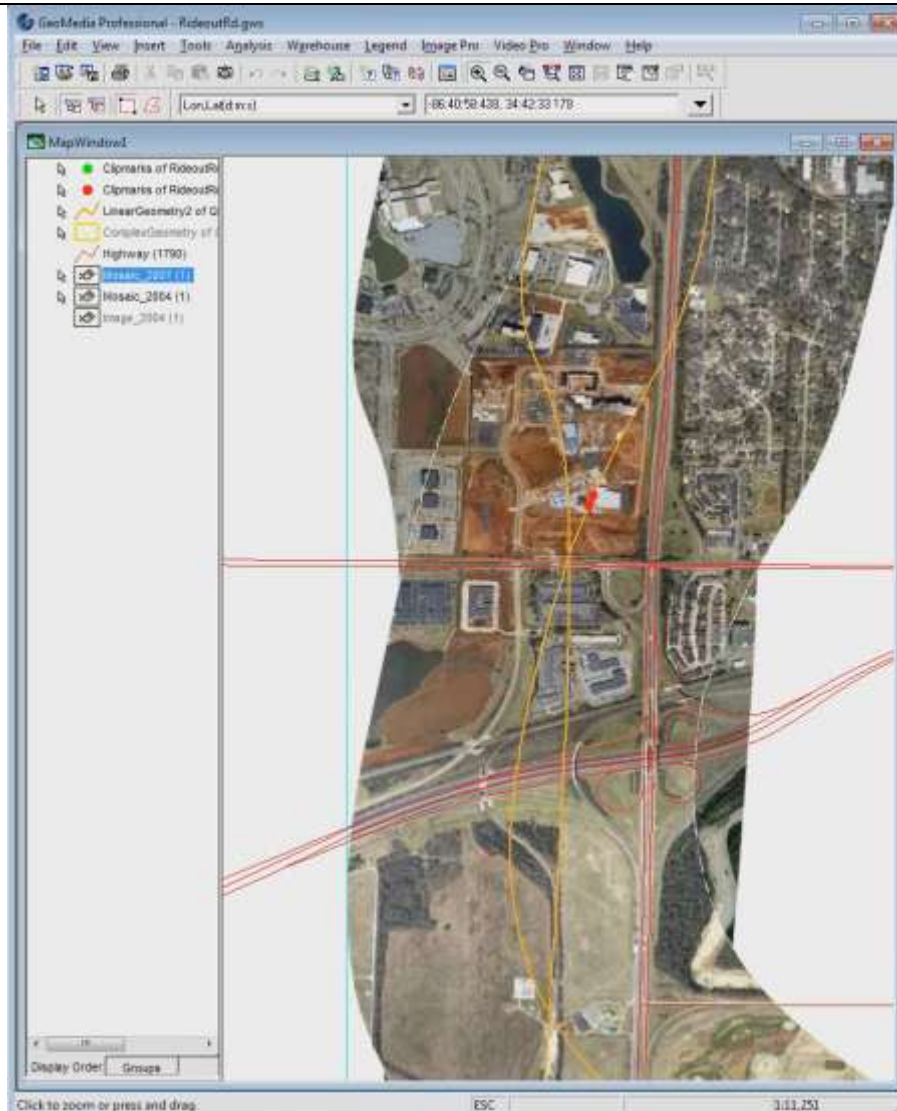
Az MVE rendszerről az Intergraph előadást tartott cégünk számára 2011 júniusában, melyen megismerhettük a szoftver főbb funkcióit. A felsorolt jellemzők megegyeznek más rendszerek hasonló képességeivel:

1. Az MVE a UAV FMV adatokat a repülés során rögzített telemetriai adatok (XYZ, Roll, Pitch, Yaw + kamera adatok) alapján georeferálja. A telemetriai adatok a videó jellel együtt a földi irányító állomásra (GCS<sup>10</sup>) folyamatosan érkeznek. A SUAV telemetriai adatai alapján – átlagos repülési paraméterek mellett – becsléseink szerint 5-10 méteres helyzeti pontosság érhető el.
2. Minden képkockához tartozik koordináta és telemetriai adat. A szoftver a megjelenítés során a videó felvétel képkockáit a földi vetületének megfelelő helyre illeszti. Ezzel a videó adatfolyam (stream) olyan lejátszása valósul meg, amivel a felhasználó képes vizuálisan azonosítani, hogy az adott pillanatban pontosan hol tartózkodott a UAV és a megfigyelésre kijelölt területből milyen részlet volt látható a kezelő személyzet monitorán.
3. Az MVE a UAV FMV állományokból képes ortofotó előállítására. Ez a funkció jelenleg tudomásunk szerint semmilyen más feldolgozó rendszerben nem elérhető<sup>11</sup>.
4. Az ortofotó a videó képkockák automatikus mozaikolásával digitális domborzatmodell felhasználásával készül (3. ábra). Az előállított ortofotó geometriai pontossága nem összevethető a mérőkamerás légifelvételekből előállítható ortofotó pontosságával. Az ortofotó előállításnak legfontosabb célja, hogy elősegítse az automatikus változás-detektálási funkciók működését, ehhez pedig elegendő az a megbízhatóság, amit a UAV telemetriai adatok biztosítanak.

<sup>10</sup> GCS: Ground Control Station, a repülőeszköz vezérlésére szolgáló földi irányító állomás

<sup>11</sup> A BAE Systems Video Analyst egy hasonló feldolgozó rendszer, de a videókból a jelenlegi verzióban ortofotó nem állítható elő





3. ábra Két időpontban készült UAV videó felvétel ortofotó mozaikja. A mozaikolás során a videó felvételből két hosszanti csík készült. Jól látható az egyezés a meglévő vonalas térinformatikai adatokkal

5. Az eredeti UAV videó és telemetriai adatok, valamint a feldolgozás során előállításra került ortofotó mozaikok, illetve egyéb más vektoros vagy raszteres térinformatikai adatok tárolása háttértárakban (warehouse) valósul meg. A háttértár az adatbázisban tárolt – a felhasználás során folyamatosan bővülő – adatok áttekintését megkönnyíti a kezelő-, és felderítő személyzet számára. Az MVE a tárolt adatok alapján teljes körű lekérdezési és visszakeresési felületet biztosít, a repülés ideje, a repülés által lefedett terület koordinátái, és egyéb paraméterek alapján.
6. Az MVE segítségével a katonai felhasználók számára megnyílik a lehetőség a felvételek utólagos elemzésére, a missziós területen vagy a zárt hálózat más végpontjaiban.

## UAV LÉGIFELVÉTELEK ALKALMAZÁSA TÉRKÉPÉSZETI FELADATOKHOZ

A távérzékelés területén az utóbbi egy-két évben ugrásszerű növekedés tapasztalható a pilóta nélküli repülő eszközök térképészeti célú felhasználására. A felhasználók felismerték, hogy kis területre vonatkozóan (1 km<sup>2</sup> alatt) sok esetben nem gazdaságos a hagyományos repülőgé-

pes légifelmérés, ami egy képre vetítve igen magas költségekkel járhat. Mindemellett a hagyományos repülőgépes felméréshez képest a pilóta nélküli repülőeszközök alkalmazása azonnali gyors reagálást tesz lehetővé, mely képesség adott esetben (katasztrófa helyzet, árvízvédelem) különösen fontos lehet.

A korábbi években a légifelmérésekhez használt eszközök még leginkább robbanómotoros meghajtással készültek, de az elmúlt évek műszaki-technológiai fejlesztései – különösen a nagyobb energiasűrűséget biztosító Li-Po akkumulátorok megjelenése révén – lehetővé tették az elektromos meghajtás előretörését, amivel egyre kisebb súlyú pilóta nélküli repülőeszközök készültek, kompozit és szénszálalás anyagok felhasználásával, megnövelt hasznos teherrel és egyre nagyobb hatótávolsággal.

A bevezetőben említett kutatási feladat részeként 2011. szeptember 4-9. között a HM Térképészeti NKft. képviseletében részt vettünk az 53. Fotogrammetriai Hét (Photogrammetric Week, PHOWO) szakmai konferencián (Stuttgart, Németország), melyen a témával kapcsolatban számos előadás hangzott el. A pilóta nélküli repülőeszközökkel kapcsolatos előadásokat hosszas vita követte, a felmerült kérdések legtöbbször a feldolgozási folyamatra és a megbízhatósági paraméterekre vonatkoztak. A konferencián számos olyan információ birtokába jutottunk, mely nagyon hasznos adalékul szolgált a 2011-2012. évben végzett kutatásainkban. [1][2][4]

### **GPS vezérlésű robothelikopter alkalmazásának kérdései**

A térképészeti célú felhasználás tekintetében piackutatást végeztünk arra vonatkozóan, hogy melyek a kifejezetten légifényképezésre kialakított pilóta nélküli repülőeszközök, valamint a hasznos teher tekintetében milyen kamerák lehetnek alkalmasak az üzemeltetésre. A különféle repülési módszereket megvalósító pilóta nélküli repülőeszközök közül a több rotoros elektromos meghajtású robothelikopterek megismerése irányába tettünk lépéseket.

A több rotoros elektromos meghajtású robothelikopterek legfontosabb előnyei:

- GPS vezérlés, kézi irányítás csak a le-, és felszállás alkalmával történik;
- megnövelt hatótávolság, nagyobb repülési időtartam;
- kis súly, könnyű összeszerelés, egyszerű szállíthatóság;
- egyszerű üzemeltetés, alacsony fajlagos repülési költségekkel;
- biztonságos üzemeltetés, minimális meghibásodási lehetőséggel;
- alacsony üzemelési zaj, mely lehetővé teszi a zavartalan munkavégzést;
- cserélhető hasznos teher, nappali vagy éjszakai kamerára.

A kisméretű robothelikopterek alkalmazását leginkább az időjárási viszonyok hátráltatják, különösen a szél, melyre az üzemeltetés során nagy figyelmet kell fordítani. Tekintettel arra, hogy az ilyen típusú repülőeszközök 1-1,2 kg hasznos teher hordozására képesek, a platformon elhelyezhető kamera típusa behatárolt lesz (a kamera és objektív együttes súlya a mérvadó), ami az elkészített légifelvétel műszaki paramétereit alapvetően meghatározza (pl. az adott terepi felbontás mellett egy képnek mennyi a földi fedettsége). Meg kell említeni a repülésbiztonsági és jogi kérdéseket is, melyek kiemelt fontossággal kezelendők, a biztonságos repülés megteremtése egy jövőbeni felhasználás esetén elsődleges fontosságú feladat lesz. [3][5]

### Tesztrepülés végrehajtása, UAV légifelvételek fotogrammetriai feldolgozása

A kutatási feladat gyakorlati megvalósításaként 2011. április 19-én a Magyar Honvédség Tüzér utcai Sporttelepén (Budapest, Angyalföld) tesztrepülést hajtottunk végre MICRODRONES MD4-1000 típusú GPS vezérlésű robothelikopterrel, a Quali-Top Kft., mint magyarországi forgalmazó szíves hozzájárulásával. A vetítési középpontok koordinátáit a tesztrepülés repülési tervének elkészítésével a HM Térképészeti NKft. Felmérő Osztály, Légifényképész Alosztály biztosította. A repülést megelőzően a HM Térképészeti NKft. Felmérő Osztály, Topogeodéziai Alosztály munkatársai illesztőpontokat helyeztek ki a repülés helyszínén, mely a fotogrammetriai feldolgozás alapjául szolgált. A tesztrepülés műszaki paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

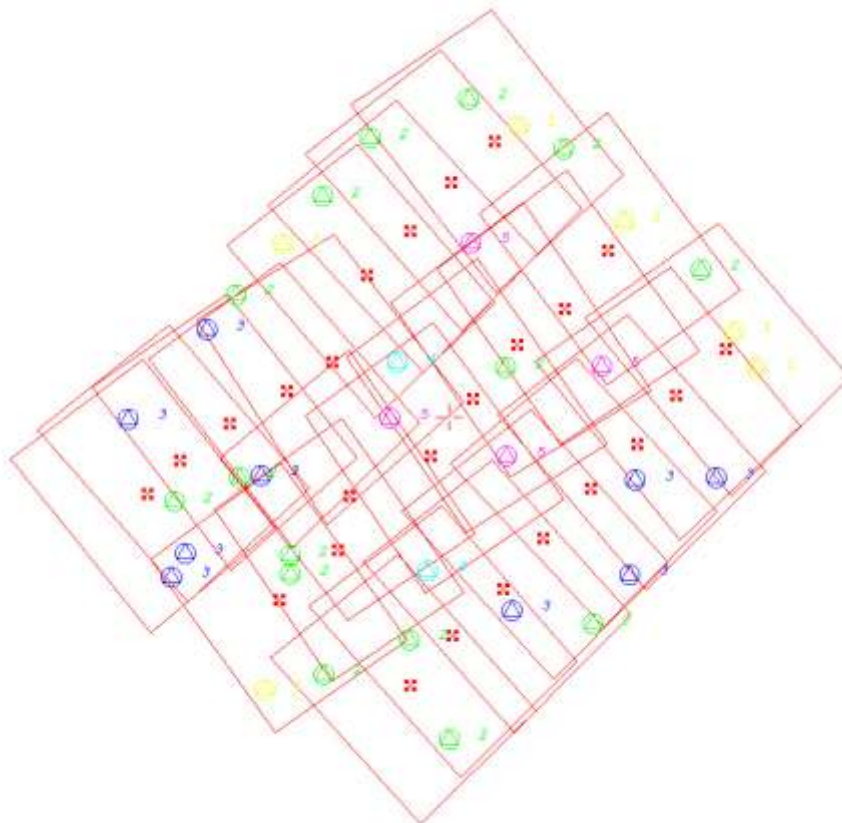
Repülési magasság	100 m
Terepi felbontás	2,5 cm
Képek száma	27 db
Kamera	Pentax Optio A40
Kamera felbontása	12 MP
Egy pixel mérete	1,9 $\mu$ m
Színmélység	RGB, 24 bit
Formátum	JPEG

1. táblázat A tesztrepülés műszaki paramétereit

A tesztrepülés alatt számos olyan tényező merült fel, mely befolyásolta ez előzetesen elvárt pontossági követelményeket és megnehezítette a fotogrammetriai feldolgozást:

1. A repülés ideje alatt a meteorológiai körülmények nem voltak ideálisak, közepesen felhős, vagy borult volt az ég, emiatt a megvilágítási körülmények folyamatosan változtak. A váltakozó megvilágítás miatt nagy különbségek alakultak ki a képek kontraszt-, és színviszonyaiban.
2. A felhasznált kamera egy egyszerű amatőr digitális kamera volt, mellyel közel sem biztosított az a színvonalú képalkotás, mint a professzionális kamerák esetén.
3. A repülés során a robothelikopter a függőlegestől eltérő kameratengellyel is készített felvételeket, emiatt a képek földi vetülete nem mindenhol abban a pozícióban volt, ahová előzetesen tervezve lett, illetve ami alapján az illesztőpontok ki lettek helyezve. A forgalmazó szerint a (közel) függőleges vetítés szoftveres fejlesztéssel biztosítható.

A légifelvételek feldolgozását a HM Térképészeti NKft. Felmérő Osztály, Fotogrammetriai Alosztály sztereo-fotogrammetriai munkaállomásain Bae Systems SOCET SET 5.6 szoftver segítségével végeztük (4. ábra). A kamera elrajzolási paramétereinek meghatározásában a BINGO szoftvert használtuk, a Dr. Kruck & Co. (Németország) szíves hozzájárulásával. A fotogrammetriai feldolgozás során légiháromszögelés alapján meghatároztuk a felvételek külső tájékozási paramétereit, továbbá az ortofotó előállításához a SOCET SET ITE modul felhasználásával elvégeztük a terület domborzatkiértékelését. Az ortofotókat szín-, és kontrasztkiegénylítést követően az Inpho ORTHOVISTA szoftver segítségével mozaikoltuk. A végleges ortofotó térképet az ESRI ArcGIS 10 szoftver segítségével készítettük el (5. ábra).



4. ábra A tesztrepülés felvételeinek földi vetülete és a felhasznált illesztőpontok helyzete a SOCET SET légiháromszögelést követően. Az illesztőpontokhoz tartozó képek számát színkód is mutatja

Az ortofotó terepi ellenőrzés alapján számolt megbízhatósági paramétereire – különösen a felsorolt körülmények figyelembevételével – az elvárásainknak megfelelő eredményt kaptunk. Az ortofotó megbízhatósága terepi ellenőrző mérések alapján, 90 %-os konfidencia szinten  $10 \text{ cm} \pm 2,5 \text{ cm}$ , ami 3-5 pixeles átlagos pontosságot jelent. A tesztfelvételek készítése és feldolgozása során bizonyossá vált, hogy számos műszaki paraméter módosítható, fejleszthető – különös tekintettel a kamera és objektív típusára –, amivel megítélésünk szerint a jövőben biztosítani lehet az átlagosan 1,5-2 pixel helyzeti pontosságot.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A pilóta nélküli repülő eszközökkel készített felderítési és térképészeti alapanyagok feldolgozása megkerülhetetlen része lett a térképészet, távérzékelés, képfeldolgozás, fotogrammetria polgári és katonai szakterületeinek. Az elkövetkező években az alkalmazott eszközök és hardver/szoftver környezet tekintetében ugrásszerű növekedés és fejlődés fog bekövetkezni. Vizsgálataink során javaslatot fogalmaztunk meg a Magyar Honvédség SUAV rendszerének geoinformációs támogatásának fejlesztésre, javaslatot tettünk egy lehetséges feldolgozó környezetre, továbbá elméleti és gyakorlati kutatások eredményeképp elkészítettük a magyar katonai térképészet első olyan ortofotó térképét, melynek légifelvételei pilóta nélküli repülőeszközzel készültek.



5. ábra A tesztrepülés felvételeinek ortofotó térképe az ellenőrző mérések eredményeivel

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] EISENBEISS, Henri: The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping. Photogrammetric Week 2011. University of Stuttgart, 2011. 135-145.o.
- [2] MAYR, Werner: Unmanned Aerial Systems in Use for Mapping at Blom. Photogrammetric Week 2011. University of Stuttgart, 2011. 125-134.o.
- [3] PALIK Mátyás: Pilóta nélküli repülőgépek üzemeltetésének légiközlekedés-biztonsági szempontjai, In: XVII. Repüléstudományi Napok Konferencia. Budapest, 2010.11.11-12. 1-16.o.
- [4] STRECHA, Christoph: The Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-Light UAV Imagery. Photogrammetric Week 2011. University of Stuttgart, 2011. 289-294.o.
- [5] The Swedish Transport Agency's regulations on unmanned aircraft systems (UAS). The Swedish Transport Agency's Statute book. Swedish Transport Agency, TSFS 2009:88 AVIATION Series GEN

Balogh Zsuzsanna<sup>1</sup>

## TISZTES TÁVOLSÁG - OPTIMÁLIS VÉDŐTÁVOLSÁG ROBBANTÁSOS TÁMADÁSOK ESETÉN<sup>2</sup>

### *Absztrakt*

Épületeink terroristatámadástól való védelmének egyik adminisztratív formája a rezsimintézkedések bevezetése. Ennek célja, hogy mindenféle módszerrel megakadályozzuk a támadást, a robbanóanyagok vagy –szerkezetek épületbe történő bejuttatását. Az objektumunk körüli „tisztas távolság” egy repülőtér tekintetében még jelentősebb szerepet kap, hiszen a robbanóeszközök elhelyezése céljából a terroristák preferált eszköze – az autók után – a repülőgép. Tekintve, hogy a repülés önmagában is egy sor biztonsági szabályhoz kötött „veszélyes üzem”, ezért az üzemeltetők számára is fontos, hogy a repülőtéren történő esetleges baleset hatósugarában mi-nél kevesebben tartózkodjanak.

### **RESPECTABLE DISTANCE – OPTIMAL STAND-OFF DISTANCE IN CASE OF BLAST ATTACKS**

### *Abstract*

One way to defend our buildings against terrorist blast attacks is to install administrative measures. The aim is to avoid attacks with keeping away explosives and equipments applicable to commit blast attacks with. To provide the "respectable safety distance" is more important in case of an airport. The second preferable tool for terrorists to execute their offense (after the car) is an airplane. Bear in mind that the aviation is dangerous activity, the existence of safety distance is vital for operators of the air base as well: in case of emergency this is the only way to reduce injuries.

## HATÓTÁVOLSÁG

A robbanás elleni védelem kapcsán az első dolgok egyike, hogy megtanuljunk, hogyan is kell robbantani. Persze lerombolhatunk mindent, vagy rábízhadjuk a véletlenre is, de ahhoz, hogy biztosak legyünk a munkák sikerében, jobb, ha megtanuljunk méretezni az eseményt. Először is tudnunk kell, hogy milyen anyagban kívánunk kárt tenni, mert az anyagok szilárdsága, faj-súlya jelentősen befolyásolja tönkremenetelüket. Ismernünk kell a rendelkezésünkre álló robbanóanyagot, illetve annak pontos mennyiségét is.

A méretezésre szolgáló képlet tehát

$$C = 10 * A * h * r^2$$

ahol

- C = TNT robbanóanyag töltet tömege (kg);
- A = a rombolandó építmény anyagának szilárdságától függő tényező (táblázatból);
- h = a legtávolabbi rombolandó elem vastagsága (m);
- r = rombolási sugár = a töltet középpontjától, a legtávolabbi rombolandó elem ten-

<sup>1</sup> mk. alezredes, HM Hadfelszerelési és Vagyonfelügyeleti Főosztály, balogh.zsuzsanna@hm.gov.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán okl. mk. őrnagy, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

---

gelyvonaláig terjedő távolság (m).<sup>3</sup>

Láthatjuk tehát, hogy a rombolási sugár, azaz a robbanó töltetüinktől a megsemmisítésre kiszemelt objektum, pl. a reptéri terminál homlokzata közti távolság a második hatványon szerepel. Egyszerűbben szólva a homlokzatra terhelő nyomás, ezáltal a rombolást okozó terhelés a távolság növelésével hatványozottan csökken. Ebből is kiderül, mennyire alapvető dolog a megfelelő védőtávolság kialakítása a védendő objektumunk, épületünk körül. Mellesleg az egyik legkönnyebben megvalósítható védekezési mód. Mindaddig, amíg a szerkezetek utólagos megerősítése pl. a tartószerkezetek kompozit szálak tekeréssel, vagy a robbanási lökéshullámok felvételére szolgáló habosított alumínium pannellel való burkolásuk jelentős anyagi vonzattal jár, addig a biztonsági távolság betartására néhány parkolást tiltó tábla kihelyezésének költsége elenyésző.

### **Rezsim intézkedések és mechanikai védelem**

A rezsimintézkedések bevezetése csak egy részét képezik a védekezési lehetőségnek. Körültekintő építészeti és várostervezéssel rendkívül hatékonyak tudunk lenni. A megfelelő megoldások kiválasztására szolgálnak a városépítészek számára készült segédletek, melyben többek között a megfelelő biztonsági távolság kialakítására is adnak javaslatokat. Ilyen pl. az ausztrál főváros önkormányzata által kiadott iránymutatás<sup>4</sup> is. Ebben szinte minden szituációra alkalmazható megoldásokat, „trükköket” mutatnak be, hogyan biztosítható az épületektől kellő távolságban a gépjármű forgalom.

Mindenekelőtt, ha az épületek homlokzatára merőlegesen soha sem vezetjük az utakat, megelőzhetjük, hogy az egyenes szakaszon felgyorsult, robbanószerrel megrakott gépjármű vezetőjével együtt az épületbe csapódjon. Ugyancsak az épületbe való behatolás megnehezítésének fontos eszköze a szintbeli különbség kialakítása peremkő, emelt járdaszegély készítésével. Ugyanilyen célt szolgálhatnak, bár nem túl elegáns megoldás az alacsony beton terelőelemek pl. Jersey-wall elemek telepítése.

A reptéri terminál épületek előtti területen jól alkalmazható ez az 1. sz. képen látható acél köpenyes terelőfalas megoldás. Az előregyártott acél dobozok kb. 12 méteres hosszban vannak egymás mellé helyezve, igény esetén több elem összekapcsolható. Hátoldalukon 6 méterenként megvannak támasztva. A felül szélesebb (kb. 60 cm), lefelé keskenyedő (alul kb. 45 cm), tehát trapéz keresztmetszetű elemeket a helyszínen kibetonozzák. A teherbírását ellenőrző tesztelés során a merőlegesen, közel 80 km/h sebességgel belecsapódó 29 tonnás tehergépkocsi mintegy 58 cm-es torzulást okozott a falon, miközben a jármű szinte teljesen megsemmisült. [1]

---

<sup>3</sup> Prof. Dr. Lukács László ny. mk. alezredes előadásából – “Kiből lehet robbantó? A bombamerényletek humán oldala” címmel (Magyar Robbantástechnikai Egyesület, „Fúrás-robbantástechnika 2010” Nemzetközi Konferenciáján, Balatonkenese, 2010. szeptember 07-10. megjelent a konferencia kiadványában, pp. 177-185.)

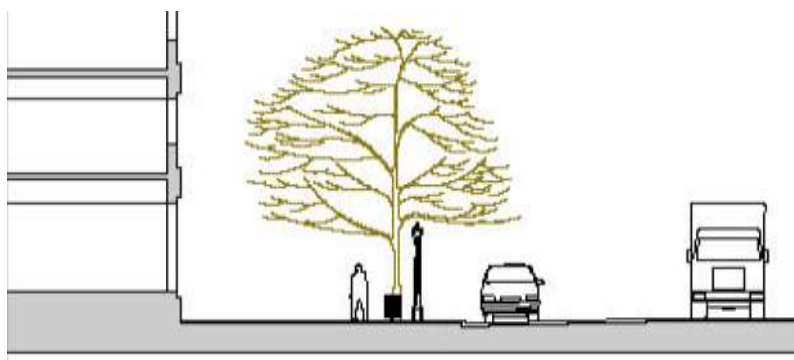
<sup>4</sup> Urban Design Guidelines for Perimeter Security in the National Capital

[http://downloads.nationalcapital.gov.au/corporate/publications/misc/Urban\\_Design\\_Guidelines\\_LR.pdf](http://downloads.nationalcapital.gov.au/corporate/publications/misc/Urban_Design_Guidelines_LR.pdf) (2012. 02.14.)



1. ábra Védő lábazat a terminál épülete előtt<sup>5</sup>

A szegélykő vagy térfal mögötti széles járdaszakaszok kialakítása is fontos, de ezeket sem tanácsos szabadon hagyni. Javasolt a „bebútorozásuk”: padok, virágtartó edények, lámpa- vagy hirdetőoszlopok és egyéb utcai bútorok telepítésével. Az úttest és járda közötti területen zöld felület is kialakítható, leginkább fákkal. Az alacsony cserjés növényzetben könnyen elrejtethők a robbanóanyagok, -eszközök, ezért telepítésüket jobb elkerülni. Az épület körüli parkosításakor a rézsűszerűen képzett földfeltöltés is szóba jöhet, elsősorban a robbanási hullámok csillapításának céljára.



2. ábra Az épület körüli biztonsági távolság növelése<sup>6</sup>

Az épületek előtti parkolást lehetőség szerint közlekedési táblákkal tiltani kell. Amennyiben megoldható, a járda és a közút közé egy csökkentett forgalmú, kamerával ellenőrzött busz- és taxi sáv beiktatása növeli a biztonságot.

## Szabályzók

A városgazdák, önkormányzatok hathatós eszköze a megfelelő biztonsági távolságok kialakításának a helyi építési szabályzatok (HÉSZ). Ezekben rögzítik az egyes területek övezetbe

<sup>5</sup> <http://www.rsaprotect.com/antiram.php> (2012.02.14.)

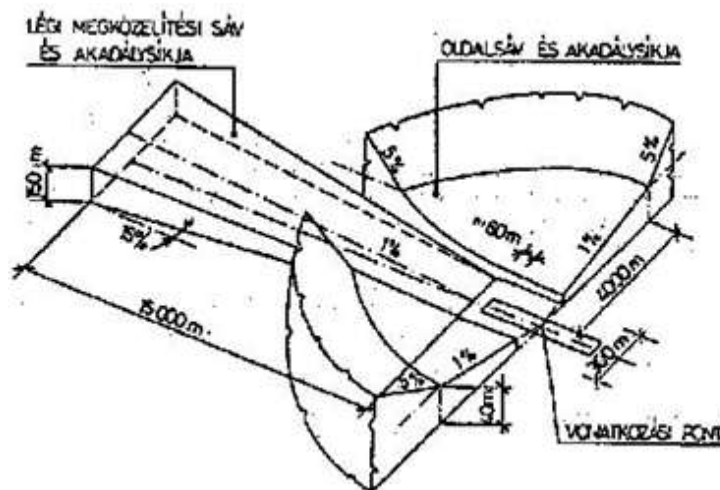
<sup>6</sup> Urban Design Guidelines for Perimeter Security in the National Capital

[http://downloads.nationalcapital.gov.au/corporate/publications/misc/Urban\\_Design\\_Guidelines\\_LR.pdf](http://downloads.nationalcapital.gov.au/corporate/publications/misc/Urban_Design_Guidelines_LR.pdf) (2012. 02.14.)



sorolását, beépíthetőségének mértékét, esetleges védettségét stb. Gyakran nagy a visszhangjuk azonban az olyan építési ügyeknek, melyekben nem megfelelően értelmezik ezeket az előírásokat. Nem egy ilyen esetben indult ombudsmani vizsgálat is, mely többnyire a városvezetést tette felelőssé a kialakult helyzetért.

A repülőterek körüli védőtávolságokat utoljára a 2/1986 (II. 27.) ÉVM rendelet, ismertebb nevén az Országos Építési Szabályzat (OÉSZ) tartalmazta. Mivel azt ezt felváltó 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet (OTÉK) 1998. január 01-től hatályos, így a legkésőbbi időpontban, mondjuk 1997 decemberében alkotott rendezési tervek max. 10 évig, azaz 2007 év végéig élhetnek. Az ezt követő tervek gyakorlatilag ilyen jellegű szabályozás nélkül készülhettek. Az OÉSZ 52. §-ától foglalkozott az egyes közlekedési építmények védőterületeivel, az alábbi ábrával és tételes felsorolással szabályozta, milyen távolságban, milyen tevékenység engedélyezett. Így például a repülőtér építési telkének szélétől mért 1000 m-en belül a légi megközelítési sávban, illetőleg 300 m-en belül az oldalsávban megtiltotta bárminemű építmény elhelyezését. Ebből következően, ha nincs ott építmény, akkor nem tudjuk fedezéként használni egy esetleges belövéses vagy robbantásos támadásra a repülőtérünk ellen. Így ez is lehet a védelem egyik eszköze. [2][3]



3. ábra Biztonsági távolságok OÉSZ szerinti értelmezése

Persze nem csak a városvezetésnek, a lakosságnak, hanem elsősorban a repülőtér üzemeltetőinek is érdeke a szabályozott távolság betartása, hiszen biztonságban tudhatnák a járatokat, mert pl. egy túl közel vezetett főút (lásd Kecskemét) is potenciális veszélyforrás lehet. Akár egy ott történő nagyobb balesetben keletkezett tűz ronthatja a látási viszonyokat, akár esélyt adhat egy le- vagy felszálló gép lelövéséhez, robbantásához.

De a túl közel települő lakosság vagy ipari, kereskedelmi tevékenység is okozhat fennakadásokat, komoly gondokat annak ellenére, hogy látszólag ártalmatlan. Ilyen ártalmatlan tevékenységnek tűnhet például a reptér mellé növénytermelő telepet létesíteni. De jobban átgondolva a helyzetet, előfordulhat, hogy a technológiához üvegházak, sátrak felépítése szükséges, amik olyan visszatükröződő felületet jelentenek, melyek zavaróak lehetnek a pilóták számára. Ugyancsak veszélyes lehet a technológia által a környezet faunájának megváltozása, leginkább a madárrajok megjelenése jelenthet problémát. A szakemberek repülésbiztonsági szempontok

miatt javasolják a repülőterek 15 km-es (!!)

körzetében a „csábító helyek” megszüntetését.<sup>7</sup> Sajnálatos módon a települések vezető testületei túl azon, hogy minden tulajdonukban lévő területet igyekeznek hasznosítani óriási bevétel reményében, gyakran nem veszik figyelembe a honvédelmi célú rendeletet. Döntéseiket az irodákból hozzák, ahol nem látszik a helyszínrajzon, hogy a tényleges terület határokon túl milyen hatások várhatók. Ezért fordulhat elő, hogy gyakorlótér vagy repülőtér szomszédságában a lakosság minden határértéken túli hanghatásra panaszkodik, a hanghullámoktól rezegnek, megrepednek az ablaküvegek, sőt a falak és persze megnő a légszennyezettség mértéke is, hajtóműveikből száz méter magasból ömlik a káros gáz és az el nem égett kerozin. A terminálbővítést végző Budapest Airport nevét is jól ismerjük a hírekből, hiszen gyakorlatilag a peres ügyekről<sup>8</sup> hetente hallunk. Pedig valójában mindkét fél jól felfogott érdeke lenne a „tisztas távolság” megtartása.

Előfordul az is, hogy a lakosság és az önkormányzat érdeke egyezik meg, mint pl. a XII. kerület esetében, ahol Alkotmánybírósághoz fordultak, hogy kérjék a Ferihegyi<sup>9</sup> repülőtérrel felszálló gépek által keltett károkozás megszüntetését. Azt szeretnék elérni, hogy helyezték hatályon kívül azt az 1997-es rendeletet, amely megengedte a repülőtér üzemeltető vállalatnak a kifutópálya Rákoshegy felőli végének használatát, mert a gépek nagy zajterhelést és légörvényt okozva szállnak le. Hiába, a fizika már csak ilyen, a léghullámok nem állnak meg a telekhatároknál, még a városvezetés kedvéért sem. [4]

Persze a lakosság naivitása is kérdésként merül fel, mikor egy-egy hír arról szól, hogy telket vásárol félkész házzal<sup>10</sup> úgy, hogy a kerítése túloldalán rögtön, a háza sarkától alig 50 méterre üzemanyagtartályok vannak. Ráadásul nem egy elhagyott, használaton kívüli laktanyáé, hanem egy üzemelő objektumé. Először rossz néven veszik, hogy a honvédelmi érdekek képviselőjét ellátó katonai szervezet nem adja meg szakhatósági hozzájárulását a továbbépítéshez és fellebbezéseket nyújtanak be minden lehetséges fórumon. Később persze rájönnek, hogy az ő saját érdekük is lenne a távolságtartás, mivel egy baleset esetén a berobbanó üzemanyag egész életük munkáját és legrosszabb esetben az életüket is megsemmisítené.

## PARKOLÓK KIALAKÍTÁSA

Amint a biztonsági zónát sikeresen kiépítettük az épületünk körül, a parkolók kérdését kell megoldjuk. Először is az épületünkől megfelelő távolságra, jól megfigyelhetően, esetleg kiépített beléptető rendszerrel ellátva, kerítéssel körbevéve kell elhelyezzük. Amennyiben van lehetőség, mindenképpen el kell különítenünk az ott dolgozók, ott lakók gépjárműveit a helyszínen csak ideiglenesen tartózkodók, vagy csak ügyintézni érkező személyekétől.

Az épületek alatti garázsok vagy tetőparkolók mindenképpen kerülendőek. Amennyiben semminemű más megoldás nincs a belépő gépjárművek azonosításáról, regisztrációjáról és

<sup>7</sup> Dr. Baráth Sándor: Madárveszély és az ellene való védekezés (Repüléstudományi Konferencia 2009. április 24.) című cikkében tett javaslatainak első helyén szerepel





[http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Barath\\_Sandor.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Barath_Sandor.pdf) (2012.02.15.)

<sup>8</sup> <http://www.hir24.hu/belfold/2012/01/27/elviselhetetlen-zaj-es-kerozinfelho-rakoshegyen/> (2012.02.14.)

<sup>9</sup> Ma már Liszt Ferenc

<sup>10</sup> <http://www.baon.hu/bacs-kiskun/kozelet/szellemhaz-lett-mire-elkeszult-423047> (2012.02.14.)

átvizsgálásáról (tükrökkel, zsilipekkel stb.) gondoskodnunk kell. Ugyanígy kell eljárni az áru-feltöltő, áruszállító és postai és egyéb szerviz jellegű munkákra érkező gépjárművek esetén. Repülőterek esetén az utasok gépjárművei többnyire jól elkülönítetten parkolóházakban vagy távolabbi parkolóhelyen van elhelyezve, ahonnan shuttle-bus-okkal, mozgójárákkal, liftekkel juthatnak a terminálba.

fenyegetettség típusa		elhelyezhető töltet (TNT egyenérték)	épületszerkezetre veszélyes távolság <sup>11</sup>	repszhatás körzete <sup>12</sup>
	mellénybe rejtett töltet	9 kg	34 m	415 m
	személygépjármű	227 kg	98 m	457 m
	kisbusz	1814 kg	195 m	838 m
	nyerges vontató	27216 kg	475 m	2134 m

4. ábra IED biztonsági távolságai tartalmazó „puska”<sup>13</sup>

Az áru-feltöltő és egyéb fuvarozó cégek gépjárművei okozhatnak nagyobb gondot. Elsősorban azért, mert ezzel az üzemi területhez közelebb juthatnak az elkövetők, másodsorban azért, mert az alábbi táblázatból is kiderül, hogy lényegesen több robbanószerrel rakható meg és ezáltal nagyobb károkozás érhető el egy támadás során. A táblázat azt is bemutatja, hogy néhány jellegzetes robbanószerkezettel elkövetett merénylet esetén mekkora távolságban számolhatunk különböző káreseménnyel.

Mivel a tehergépkocsik, kamionok átvizsgálására alkalmas detektáló kapuk igen költségesek, normál rendeltetésű épület esetén célszerű más megoldást előnyben részesíteni. Börtönök, repülőterek vagy egyéb fokozott biztonsági igény szintű objektumok esetén a gyors kapuk (záródási sebességük kb. 2 m/sec) és a röntgenkapuk alkalmazása a biztonság elengedhetetlen feltétele.

<sup>11</sup> Ebben a távolságban történő robbanáskor az épület szerkezetének komoly sérülésével, összeomlásával számíthatunk

<sup>12</sup> Ebben a távolságban történő robbanáskor az épület üvegezésének, repeszként lerepülő burkolati elemek okozta – akár életveszélyes- sérülésekkel számíthatunk

<sup>13</sup> Kivonat a házi készítésű robbanószerkezetek biztonsági távolságairól - U.S. Army Improvised Explosive Device (IED) Safe Standoff Distance Cheat Sheet

---

## ÖSSZEGEZVE

Elmondhatjuk, hogy a „tisztes távolság” megtartása nem paranoia, hanem közös érdek. Legyen szó akár közintézményről, irodaházról vagy repülőtérről, mindenképpen tiszta helyzetet kell teremtsünk, hogy a munkavégzés zavartalan lehessen. A legegyszerűbb módszer pedig az adminisztratív módszerekkel kijelölt és betartatott biztonsági távolság. A robbantásos cselekmények elleni hatékony védelem érdekében mindenképpen felül kell vizsgálni azokat a hazai szabályzókat, melyek épületek létesítésére vonatkoznak. Jelenleg csak néhány, elsősorban angol nyelvű és leginkább katonai segédlet, táblázat (lásd: 4. ábra), illetve EU szabvány<sup>14</sup> ad halvány iránymutatást. Ideális lenne a követelményeket nem csak egy-egy szakaszban megjeleníteni a jogszabályban, rendeletben a robbantásos cselekmények esetére, hanem egy hiánypótló, csak ebben a témában született, átfogó magyar szabályzatot.

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dean C. Alberson, Wanda L. Menges, Rebecca R. Haug: Testing and evaluation of Adler anti-ram wall – Texas Transportation Institute, April, 2004. <http://www.rsaprotect.com/> (2012. január 27.)
- [2] Az Országos Építésügyi Szabályzat közzétételéről szóló 2/1986 (II.27.) ÉVM rendelet
- [3] <http://www.epitesijog.hu/content/view/140/65/> (2012. február 03.)
- [4] <http://www.jogiforum.hu/hirek/17410> (2012. február 03.)

---

<sup>14</sup> EN-14383 Prevention of crime - Urban planning and building design – mint címe is mutatja, ez bűnmegelőzés célú várostervezési, –építési útmutatásokat tartalmaz és csak a fogalomjegyzéke van lefordítva magyarra



Fenyeres Tamás<sup>1</sup>

## A ROBBANÓANYAGOK KOLORIMETRIKUS VIZSGÁLATA<sup>2</sup>

*A kolorimetria a kémiai analízisben használatos szín-összehasonlításon alapuló eljárás. Ez a módszer összetett vagy még gyakrabban egy vegyület csoportot azonosít, amely az analitikai kémia egyik legrégebbi és legegyszerűbb módszere. Melynek alapja, hogy egy adott vegyület, vagy egy vegyületcsoport, ha megfelelő reagens oldattal lép kémiai reakcióba, akkor az előálló színből következtethetünk a vegyületre, vagy vegyület csoportra. Az eljárás gyors, robbanóanyagoknak helyszíni detektálását teszi lehetővé, illetve a robbanásveszélyes anyagok előzetes laboratóriumi vizsgálatára is alkalmas. Ezekkel a vizsgálatokkal diagnosztizálni lehet a robbanóanyagok bomlástermékeit, és az ott jelen lévő szennyeződések.*

### **COLORIMETRIC DETECTION OF EXPLOSIVES**

*The colorimetric analysis of the chemical used to color-comparative method. This method is complex, or more commonly a group of compounds identified, the analytical chemistry is one of the oldest and simplest method. This is based on whether a particular compound, or a group of compounds, if appropriate reagent solution into chemical reaction, you may infer the colors of compounds or compound groups. The procedure is fast, on-site detection of explosives permits, and preliminary laboratory testing of explosive materials, too. These tests can diagnose the breakdown products of explosives and to the presence of impurities.*

## 1. BEVEZETÉS

Az utóbbi időben hatalmas fejlődésen ment keresztül a robbanóanyagokat detektáló eszközökkel, és az ebből felépíthető rendszerekkel foglalkozó tudomány.

Ez különösen azokra a vizsgálatokra igaz, amelyeknél a felderítés helye távol van az improvizatív robbanóeszközökkel elkövetett öngyilkos merénylet, vagy az útmentén végrehajtott robbantás területétől.

Határtalan a leleményesség és a kreativitás, amely a fejlett, civilizált társadalmakat fenyegeti. A veszélyeztetett országokban az ellenség motivációját nem, vagy csak kevésbé értik, de ennek ellenére a megfelelő védelmi rendszereket nagy kreativitással, innovációval kell kialakítani. Az utóbbi időben riasztó mértékben nőtt a terroristák által elkövetett merényletek száma, (hogy csak a legveszélyeztetettebb országokat, Irakot, Afganisztánt említsem, itt számos statisztikát lehetne bemutatni ennek szemléltetésére). A terroristák jelentős hatóerejű, és különböző vegyületekből álló robbanóanyagokat szereznek be, vagy állíthatnak elő, amelyeknek az érzékelése nagy feladatot jelent számunkra (terrorcselekmények csoportosítása).

### **Általános áttekintés, a legújabb eredmények**

Az elmúlt 3 évben számos konferenciát, és Workshopot rendeztek, amelynek témája (sokad-szorra) a robbanóanyagok felderítésére alkalmas rendszerek bemutatása volt. A SPIE előadásain ismerhettük meg, mint legújabb módszerek egyikét, a Tetrahertz technológiát, amely a

---

<sup>1</sup>tamas.fenyeres@gmail.com

<sup>2</sup>Lektorálta: Dr. Csurgai József mk. alezredes (PhD), Nemzeti Közszerológiai Egyetem, csurgai.jozsef@uni-nke.hu

katonai és a civil szférában egyaránt alkalmazható rendszer. A 2004, 2005, 2006 SPIE szimpózium másik fontos témája a szenzorvezérelt, intelligens technológiák bemutatása volt.

Számos tanulmány áll rendelkezésünkre, amely egy-egy részterületet próbál összefoglalni [4-6], ilyen például Harper és kollegái által a kutyás felderítésről [2], vagy Lareau az újgenerációs detektorokról [3] szóló értekezése, vagy Nambayah és Quickenden által publikált dolgozat, amely az észlelési határok [4] alapján hasonlítja össze a detektálási módszereket. Az utóbbi esetben a probléma a referencia anyagok standardizálásával van. Erre ad hatékony választ a piezoelektromos NIST pára kalibrátor, amellyel még pontosabb észlelési határokat (LOD) érhetünk el.

Továbbá ismert még a mintavételezéskor, minta előkészítéskor alkalmazott tintasugaras technológia (ink jet technology) [7], és a pneumatikus porlasztás (pneumatically assisted nebulization) [8], és a nanométer átmérőjű RDX molekulák esetén alkalmazott aeroszolos jet technológia (aerosol jet techniques). [9]

Mindazonáltal nem létezik egyedüli megoldás, amellyel válaszolhatnánk az összes felderítési problémára, így ez megköveteli az adott területtel foglalkozó szakemberektől, hogy minden esetben komplex rendszert alakítsanak ki. Ellenkező esetben az a hamis képzet alakulhat ki, hogy az egyféle eszköz használata, és annak kimutatása, megfelelő eredményt nyújthat.

Azonban csak néhány tanulmány foglalja össze átfogó módon a detektálási technológiákat. Ilyen például a Délkelet Európában alkalmazott BIOSENS terv [1][10], vagy a svéd közreműködéssel megvalósult taposóakna és a fel nem robbant tűzészeti lövedékek (UXO) felderítésére szolgáló rendszer a „multi optical mine detection system” (MOMS). [11]

Bár ezek a tanulmányok nem kifejezetten az improvizált robbanóeszközök felderítéséről szólnak, de e projectek eredményei érdekes betekintést nyújtanak abban, hogy a különböző technikákból létrehozott rendszerek milyen körülmények között alkalmazhatók.

**A kolorimetriás vizsgálatnak a detektálás folyamatában betöltött szerepe, melyben, mint önálló vizsgálat, és mint mintavételezési eljárás is szerepel.**

A v i z s g á l l a t	Pára	A felületi mintavételezés						Pára
	Minta- gyűjtés	Mintavételezés						Minta- gyűjtés
		Van érintkezés			Nincs érintkezés			
		Komplett vizsgálá- latok	Helyben történő vizsgálat	Páráképzés	Közel a vizsgálat helyéhez	Távol a vizsgálat helyétől		
		Kolorimetriás vizsgálatok		Stroboszkóp lámpa	Ion mobilitás spektroszkópia	UV vagy NIR, IR spektroszkópia		
				Termikus párákép- zés	Tömeg spektrosz- kópia (SIMS, DESI, DAPCI)	LIDAR technológia		
				Akusztikus időtü- rőzés	Gázkromatográfia	Differenciális abszorpciós LIDAR technológia		
Dúsítás	Dúsítás						Dúsítás	
Elválasztás (TLC, GC, LC)	Elválasztás (TLC, GC, LC)				Folyadék kroma- tográfia	Lézerrel indukált plazma spektrosz- kópia	Elválasz- tás (TLC, GC, LC)	
Eljárások			Kolorimetriás analízis			Kemiluminesz- cencia	Raman spektrosz- kópia	Eljárások
						Immunkémiai analízis	Foto akusztikus vizsgálatok	
						Kiképzett állatok	Tetrahertz techno- lógia	
						MEMS (mikro- elektro- mechanikai rend- szerek)		
						Mirokonzol technológia		
					A robbanóanyag- ok kimutatása fluoreszcenciát erősítő polimerek- kel			
				A továbbfejlesz- tett FT- Raman spektroszkópia				

1. táblázat A felderítés során alkalmazott módszereket mutatja be a mintavételezési protokoll szempontjából.

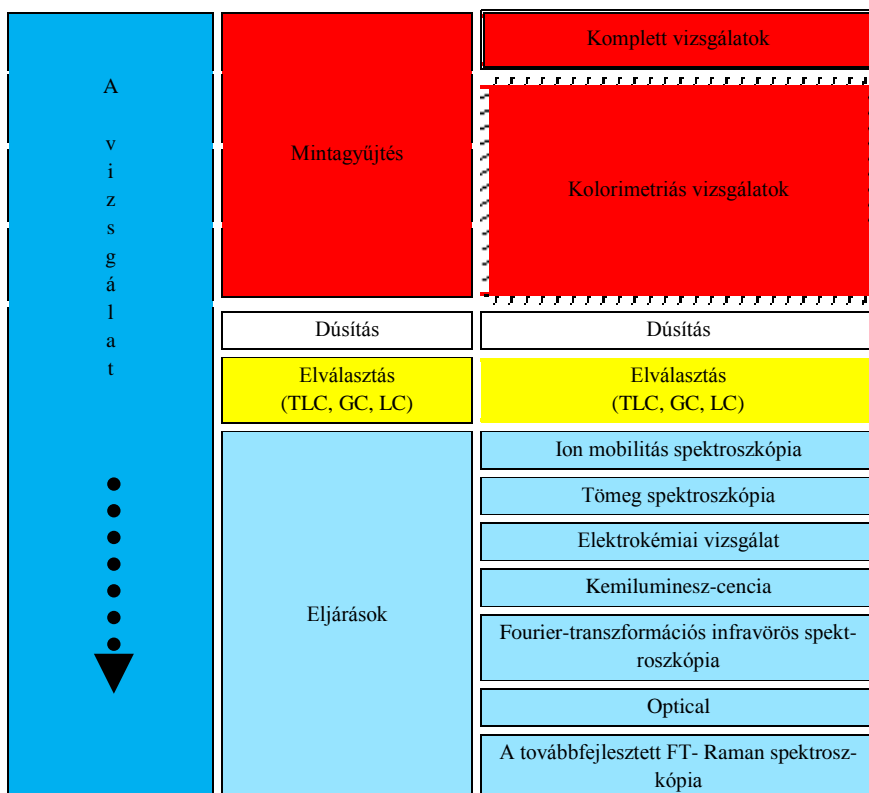
Az eljárás során alkalmazott mintavételezést (így magát az eljárást) két nagy csoportra oszthatjuk aszerint, hogy a vizsgálandó anyaggal a detektálás során érintkezésbe kerülünk-e vagy sem.

- Abban az esetben, amikor nincs közvetlen érintkezés az analízis során, a csoportosítást tovább folytathatjuk aszerint, hogy képesek vagyunk-e távoli vizsgálatra, vagy közeli

elemzésre lesz szükségünk. Az utóbbin nem értünk mást, mint azt hogy a mintának át kell haladnia egy detektoron.

- Az érintkezéssel történő vizsgálat esetében a felületről begyűjtött mintát, egy elővizsgálat után, további eljárásoknak vetjük alá, például a mintára reagenst fújuk, vagy a mintát elpárologtatjuk a felületről. Azokban az esetekben, amikor kontaktus jön létre a vizsgálatok során, az ekkor alkalmazott módszerek bizonyítottan többet jelentenek, mint egy mintavételi protokoll.

### 1. A kolorimetriás vizsgálat, mint mintavételezési eljárás



2. táblázat A kolorimetriás vizsgálat, mint mintavételezési eljárás

Mivel a legtöbb robbanóanyag párákoncentrációja alacsony, ezért a **mintavételezést** követően **dúsításra** van szükség. A dúsítás után a robbanóanyagot alkotórészeire bontjuk, azaz megkezdődik az **elválasztás** folyamata.

Az elválasztás egyik fajtája az **Extrakciós** folyamat:

A molekulák eltérő oldhatóságán (azaz polaritásán) alapuló elválasztási (kioldási) módszer a extrakció. A mintákat ilyen folyamatok segítségével bontják alkotó elemeire, mint például a szuperkritikus extrakció [12], vagy például a szilárd-folyadék extrakció [13] (valamely szilárd fázis alkotórészét kioldással átvisszük folyadékfázisba).

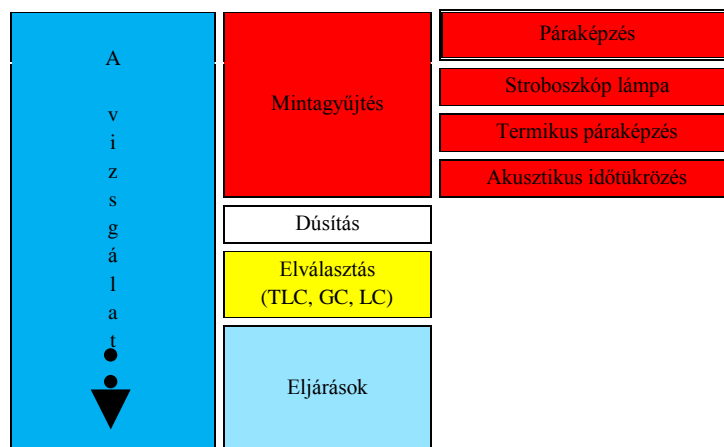
A folyékony minták esetében Loknauth és Snow használta először a szilárd fázisú extrakció egyik változatát, amelyet keverőbabás extrakciónak nevezünk (Stir Bar Sorptive Extraction). A keverőbabás extrakció (Stir Bar Sorptive Extraction) egy egyensúlyi megoszláson alapuló technika (a szerves anyagok megoszlási hányadosuktól függő arányban kötődnek a talaj, az üledék, ill. a lebegőanyag szilárd fázisához, vagy oldódnak a vizes fázisban. A hányados



segítségével kiszámítható az adott szennyezőanyag megengedhető határkoncentrációja). Ezt az eszközt Twister néven forgalmazzák. A Twister tulajdonképpen egy keverőbabára felvitt polimer réteg, amely extrahálja (kivonja) a mérendő komponenseket a mintából. Az adszorbeált komponenseket egy speciális termodeszorber egységben fűtjük le (100-300 °C-on (alacsony hőmérsékletű) vagy 300-600 °C-on történik a víz és a szerves szennyezőanyagok elpárolgatása a szennyezett talajból, így a szennyezőanyag ledesztillálását végezzük a szilárd felületről.), mely a gázkromatográfiás injektor fölé van szerelve. (A kromatográfiás eljárások célja többkomponensű gáz, gőz vagy folyadékelegyek összetevőinek elválasztása. Az injektor feladata a minta elpárolgatása. . Ebből következik, hogy az injektor magas hőmérsékletre fűthető (max. 400 °C).) A gázkromatográf segítségével elválasztott komponensek detektálására tömeg spektrométert használhatunk.

## 2. Páragyűjtési módszerek

Ejtsünk néhány szót a páragyűjtésről is, amelyben nem beszélünk kolorimetriás vizsgálatról, de az érintkezési mintavételezésnek fontos része.



3. táblázat Páragyűjtési módszerek

Ennek az elemzésnek fontos része, amikor a nagy teljesítményű stroboszkóp lámpa hatására deszorbeálódik a felületen lévő robbanóanyag. [14]

Egy másik új módszert, amelyet a taposóaknak esetében lehet alkalmazni, az az akusztikus időtükrözés koncentráció.

Ezek és az ehhez hasonló technikák a robbanóanyagok azt a tulajdonságát használják fel, hogy azok rendkívül könnyen abszorbeálódnak a környezetükben, így például a mintavételezési egységben is. Ez a terület jelentős fejlesztést és kutatást igényel.

Számos robbanóanyag kimutatható azáltal, hogy az abszorbeálódik a levegőben.

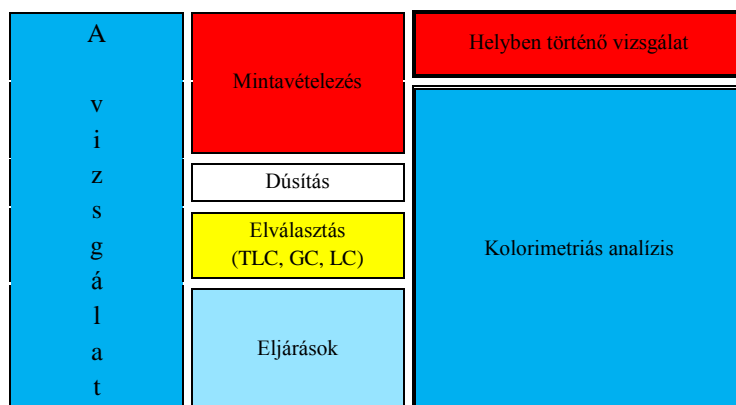
Cook és kollegái sok olyan rendszert mutattak be, beleértve az egyoldalú membránt tartalmazó tömegspektrométert, ahol az egyoldalú abszorbeáló membrán kerül kontaktusba a levegővel, (ezáltal az abban abszorbeálódott robbanóanyaggal), majd ezt követi a tömegspektrometriás analízis. Így elkerülhetjük az analitikus veszteséget, szemben a kétoldalú MIMS esetén bekövetkező idővesztéssel. [15]

Kannan és munkatársainak kutatásai olyan polimerekre vonatkozik, mint például a Carbowax és a poli-dimetil-sziloxán (PDMS), amely mint abszorbens a SAW detektálásnál használatos. [16]

Nem publikus, de nagyon jól felhasználható, amit Oxley és munkatársai publikáltak, hogy az emberi haj, de különösen a fekete haj, rendkívül jól nyeli el a robbanóanyag párát, így ez nagyon jól használható a felderítés során. [17]

Végül egy másik fejlesztés a reptereken használatos beszállókártyákra, mint mintavételi eszközre vonatkozik. A rövidhullámú infravörös sugárzás révén lehet elérni a deszorpciót, amelyet a tömegspektroszkópás vizsgálat követ. [18]

### 3. Az alábbiakban a kolorimetriás eljárásokat szeretném részletesen bemutatni.



4. táblázat A kolorimetria, mint önálló vizsgálat

A kolorimetria a kémiai anyagok felismerésére alkalmas szín-összehasonlításon alapuló eljárás, amely egy-egy vegyület, vagy összetett vegyület csoport azonosítását teszi lehetővé, amely az analitikai kémia egyik legrégebbi és legegyszerűbb módszere. Ennek az az alapja, hogy egy adott vegyület, ha megfelelő reagens oldattal lép kémiai reakcióba, akkor az előálló színből következtethetünk a vizsgált anyag összetételére. A kolorimetriát igen gyakran alkalmazzák a robbanóanyagok helyszíni detektálására [19][20][21], illetve a robbanásveszélyes anyagok előzetes laboratóriumi vizsgálatára. Ez egy könnyen kezelhető és viszonylag olcsó eszköz, és mellette szól még az is, hogy a vegyület analízisének pillanatok alatt bekövetkezik. A berendezés észlelési határa (LOD) 6-10 $\mu$ g tartományba esik. Ezekkel a vizsgálatokkal kimutathatóak a robbanóanyagok bomlástermékei, és az ott jelen lévő szennyeződések. Az egyik nagy hátránya a kolorimetriás elemzésnek, hogy alacsony a robbanóanyag specialitása. Bár ez attól is függ, hogy milyen típusú a reakció – néhány reakció meglehetősen sajátos – de általában nem lehet elég nagy biztonsággal azonosítani a robbanóanyagokat, ezért az anyagok azonosítása más laboratóriumi módszerek használatát is szükségessé teszik. Az elemzés során a legfontosabb kérdés az, hogy a vegyület vagy vegyületek, amelyek nem robbanóanyagok, képesek-e ugyanazt a színt azonos kísérleti körülmények között produkálni. Sajnos a válasz általában, igen, így a vizsgálat elemzése során ezeket figyelembe kell venni. Általánosan elfogadott, hogy a robbanóanyag analízist nem lehet csak és kizárólag kolorimetriás elemzéssel elvégezni.

Összefoglalva e vizsgálat két típusát érdemes megkülönböztetni.

1. Az első esetben egy redoxireakció eredményeként tapasztalhatjuk a színváltozást, nem atomi, hanem az  $e^-$ -k következtében jön létre. Az ilyen típusú reakcióra jó példa difenilamin (DPA) és a nitrát ionok  $\text{NO}_3^-$  reakciója, amely kék színű. [21][22] A reakció nem csak és ki-

zárólag a nitrát ionok reakciója, hanem más ionok és vegyületek oxidációs folyamataként is előállhat ugyanez a kék szín.

2. A másik esetben, amikor az analízisből származó atomok, vagy a molekula lesz maga a színes termék. Az ilyen típusú kolorimetriás reakcióra jó példa a Griess reakció [23], amelyet a továbbiakban részletesen mutatunk be. Ez a reakció sokkal pontosabb, mint az első típus (kivételez alól, a sav-bázis reakciók, amely az első típushoz hasonló). A Griess reakciónál, azonban a vizsgált anyag nitrogén atomja - a nitrit-ion - beépül a színes termékbe. Nyilvánvaló, hogy ha az nincs jelen, akkor a szín sem keletkezik. Ezért a Griess reakció nitrit ion specifikus. Amint az alább látható, ez nem jelenti azt, hogy kifejezetten csakis a robbanóanyagokat detektálhatjuk általa. A robbanóanyag megbízható azonosítása egy modern bűnügyi laborban főleg spektrometriás, amelyek gyakran kromatográfiás módszerekkel együtt használatos. A gázkromatográfia - tömegspektrometriát (GC/MS) kiváló és megbízható módszernek kell tekinteni a robbanóanyagok analízisének. Mégis, a kolorimetriás analízis nem tekinthető elavult technikának. Az egyszerűsége és viszonylagos olcsósága miatt eredményesen használhatjuk a robbanóanyag diagnosztikus tesztjei során.

Az alábbiakban három példát szeretnénk bemutatni, ahol a szín-összehasonlításon alapuló eljárás hatékonyan alkalmazható:

1. A robbanóanyagok átfogó elemzésénél a kolorimetriás analízis hatékonyan előzi meg a laboratóriumi vizsgálatokat. Egy tipikus példa erre például egy busz robbantása, amikor rendkívül nagy mennyiségű törmelék keletkezik. Nyilvánvaló, hogy nem praktikus alkalmazni GC/MS analízist minden esetben a költségek miatt, de a repeszek elsődleges kolorimetriás vizsgálata, segítségünkre lehet a megfelelő, fejlettebb, analitikai vizsgálati módszerek alkalmazásánál.

2. A laboratóriumban rutinszerű és igen elterjedt, hogy a robbanóanyagok kolorimetriás analízisét együtt alkalmazzák a vékonyréteg-kromatográfiás (TLC) vizsgálattal. A TLC lemezeken a foltok, az anyagmaradványok, reagensekkel lepermetezve válnak láthatóvá. A megfelelő színű jeltől lehet következtetni a kémiai anyag típusára.

3. A kolorimetriás tesztek nagy részét a laboratóriumon kívül, a terepen végzik. Ilyen lehet például egy határállomáson is, amikor egy ismeretlen anyagot találnak. Létezik egy készlet (melyet a későbbiekben fogunk bemutatni), amely segítségével a kolorimetriás vizsgálatot el tudjuk végezni egy-egy ismeretlen anyag diagnosztizálása során. Ebben az esetben, csak a pozitív eredményű mintákat kell a laborba küldeni további elemzés céljából. Egy másik esetben a gyanúsított kezén levő anyagmaradványt analizálhatjuk először ily módon. Általában az őrizetbe vettek kezén található anyag maradvány detektálását végezhetjük ezzel a módszerrel. Erre lehet jó példa 1974-ben, az Egyesült Királyságban, két vendéglő ellen elkövetett merénylet. Az incidens „Birminghami hatok” néven híresült el. Helyszíni vizsgálatok alapján, amikor is kolorimetriás tesztet végeztek az elfogott személyek kezén, az ott talált anyagmaradványok alapján tudták beazonosítani az elkövetőket.

Összefoglalva, bár a kolorimetriás reakciók korlátozottan megbízhatóak, és nem lehet pusztán ezen az alapon a robbanóanyagok pozitív voltára következtetni, bizonyos helyzetekben a hatékonyan segíti a detektálási vizsgálatokat.

## 2. A ROBBANÓANYAGOK CSOPORTOSÍTÁSA KÉMIAI ÖSSZETÉTELÜK ALAPJÁN

A robbanóanyagokat többféle módon csoportosíthatjuk, ez az alábbiakban a kémiai összetételük alapján történik, amely fontos információ a további vizsgálatok használatánál. Mindenképpen ismernünk kell az anyagok detektálásánál, hogy milyen vegyületet keresünk.

Egynemű, vagy alap robbanóanyagok	
Szervetlen vegyületek	Szerves vegyületek
Salétromsav sói	<b>Nitrovegyületek</b>
Azidok	Nitrát-észterek
Fulminátok	Nitraminok
Klorátok	Peroxidok
Perklorátok	Szerves sók
	„Cage” vegyületek

5. táblázat A robbanóanyagok kémiai összetételük alapján történő csoportosítása

A vizsgált vegyület		reagens oldat	folyamat	színváltozás
<b>Nitrovegyületek</b>	2,4,6-trinitro-toluol (trotil, TNT)	KOH, vagy a NaOH vizes oldata	Janowski - reakció	Piros szín
	2,4-dinitro-toluol (DNT)			
	2,4,6-trinitro-fenol (pikrinsav)			

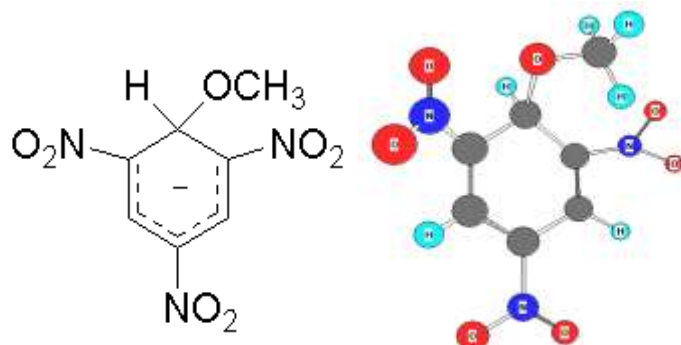
6. táblázat A nitrovegyületek kolorimetrikus vizsgálata

### 2. 1. Nitrovegyületek

A polinitro aromás vegyületeket nitrálással állíthatjuk elő. [19] A nitrálás olyan szubsztitúciós („atomcserélő”) reakció, amikor egy aromás szénhidrogén egy hidrogénatomja nitro csoportra (-NO<sub>2</sub>) cserélődik. A kolorimetriás analízist széles körben használják a nitro aromás robbanóanyagok detektálására. Ezek a vizsgálatok egy úgynevezett **spot** teszt alapját képezik. A szó a vizsgálat egyszerűségére, és rövidségére utal.

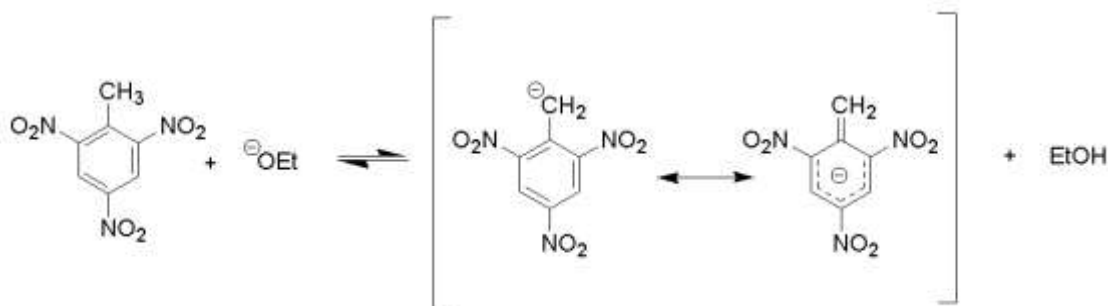
Ezt az analízist laboratóriumi körülmények között, például a TLC elemzés követhet. [26] Mindennek egyik kémiai alapja a Janowski reakció [24], amelyben a végtermék polinitro aromás vegyület (di- vagy trinitroaromás) lesz, amelyet acetonban kezelnek tömény KOH vizes oldatával. Ha a 1,3,5-trinitrobenzolt (TNB) vagy a 2,4,6-trinitro-toluolt (TNT) a KOH 30%-os vizes oldatával kezelik, akkor az lila-piros illetve vörös színű lesz. Sok változata ismert a Janowski reakciónak, amit már publikáltak. A KOH vagy NaOH vizes-, vagy etanolos oldatát gyakran használják, mint reagenst, mivel a robbanóanyag könnyen oldódik az acetonban, etanolban vagy az aceton-etanol keverékében. [21][25] A kolorimetriás reakcióban a polinitro aromás vegyületek, számos bázissal, mint például az ammónia metanolos oldatával [21] vagy a tetrametil-ammónium-hidroxid vizes oldatával léphetnek reakcióba. [27] Az Egyesült Államok katonai laboratóriumaiban igen gyakran használták az etilén-diamin (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) és a dimetil-szulfoxid ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO) oldatot [28], mint reagenst.

A kolorimetriás analízisben szereplő bázis vegyület és a polinitro aromás vegyület reakcióját először Meisenheimer javasolta. [29] Ezért a reakció „rezonancia-stabil komplex”, vagy „Meisenheimer komplex” néven vált ismertté. Így a TNB (1,3,5-Trinitrobenzol) és a nátrium-metoxid reakciójának az eredménye piros színű lesz, és ezt a következő szerkezeti képlet mutatja:



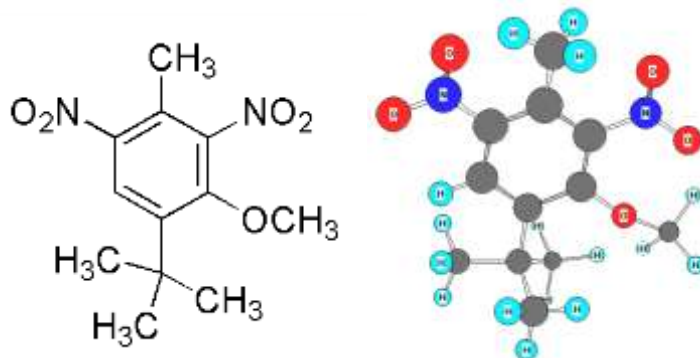
1. ábra A nátrium-metoxid reakciójának az eredménye

Úgy tűnik, hogy a polinitro aromás vegyületek és a bázisok közötti reakció következtében jelentkező szín több összetevőből áll. Megfigyelték, hogy a TNT és a nátrium-etoxid reakciójánál a kezdeti barna szín lassan lila színűvé válik. Azt is feltételezték, hogy a kezdeti barna szín oka leginkább a Meisenheimer komplex vagy a töltésátviteli komplex (lásd később). A lila szín akkor áll elő, amikor a TNT a nátrium-etoxiddal lép reakcióba, a TNT metilcsoportjától proton elvonással TNT karbaniont kapunk.



2. ábra TNT karbanion protont von el a TNT metil-csoportjától

Egy másik fontos mechanizmus, a nitro aromás vegyületek és az aromás aminok (mint bázis reagens) közötti reakció esetében is jól ismert töltésátviteli mechanizmus. [30] Az aromás amin úgy működik, mint egy  $\pi$ -donor, mivel a nitro aromás vegyület  $\pi$ -akceptorként szolgál. A 3,3'-triammónium-citrát ( $C_6H_{17}N_3$ ) használatos, mint reagens 29 fajta nitro aromás robbanóanyag és 5 féle cellulóz-nitrát alapú lőpor TLC elemzése során. [31] Biztonságtechnikai szempontból fontos tudni, hogy a cellulóz-nitrát alapú szintetikus vegyületeket széles körben használják a kozmetikai termékekben is. Miután a nitro aromás vegyületekről van szó, ezért meglehetősen könnyű összetéveszteni a robbanóanyagok kolorimetrikus helyszíni vizsgálata során. Így az ámbra („Musk Ambrette”, azaz a 1-dimetil 2-metoxi 4-metil benzol nitrát) ami különböző kozmetikumok illat- és alapanyaga – a KOH alkoholos oldatával vett reakciója is ugyanúgy lila színű lesz. [32]

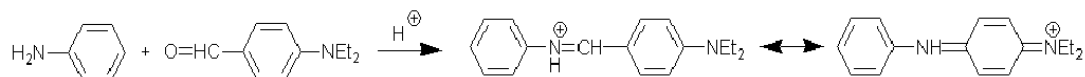


3. ábra „Musk Ambrette” 1-dimetil 2-metoxi 4-metil benzol nitrát

Léteznek olyan cellulóz-nitrát alapú lőporok is, amelyeknél nem színeződik el a 3,3'-triammónium-citrát, így a „hamis negatív” választ el kell kerülni. Néhány policiklikus szénhidrogén (mint  $\pi$ -donor) hasonló szint produkál (lila szín), és jól ismert a töltésátviteli mechanizmusa. [33]

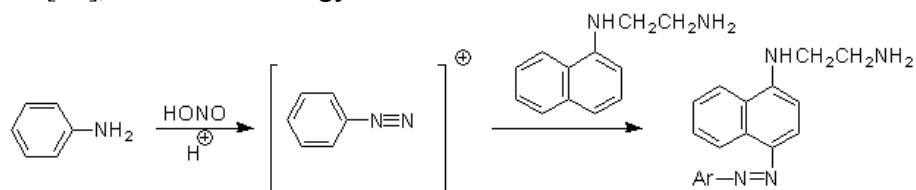
Bár a legtöbb kolorimetriás teszt a polinitroaromás robbanóanyag reakciója bázisokkal, egy teljesen más megközelítést foglal magában a nitro aromás vegyület redukciója a megfelelő aromás aminná. A Zn, SnCl<sub>2</sub> és TiCl<sub>3</sub> a savas közegben redukálószerként használatosak. [34][35][36] Az aromás amin azonosítására két módszer használatos:

1. Az amin p-dimetilaminobenzaldehyddel ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CHO) (más néven Ehrlich reagens), vagy a p-dietilaminobenzaldehyddel vett reakciójaként létrejövő vegyület lesz színes. [34][35] A szín kialakulásának az oka a protonált Schiff bázis és a rezonancia hibrid közötti reakció:



4. ábra A szín alakulásának egyenlete

2. Míg a második esetben az aromás diazónium, (mint például a butil-nitrit), amely aktív aromás aminnal, (mint például a N-(1-naftil) etiléndiaminnal (Bratton - Marsall reagenssel)) kapcsolódik össze [37], és színes azo vegyület keletkezik. [37]



5. ábra A színes azo vegyület

Érdeemes megjegyezni, hogy az utóbbi módszert használták a klóramfenikol (2,2-diklór-N-[( $\alpha$ R, $\beta$ R)- $\beta$ -hidroxi- $\alpha$ -hidroxi-metil-4-nitro-fenil]acetamid) nevű antibiotikum analizálására kezdetekben, amely szintén tartalmaz nitro aromás csoportot. [38]

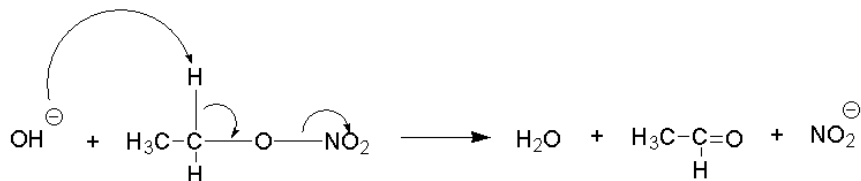
A nitro aromás robbanóanyagok fő bomlástermékei aromás aminok. [20] A humanitárius aknamentesítés TLC segítségével végezhető el [36], és az N-(1-naftil) etiléndiamin reakciójával lehet láthatóvá tenni, amelynek során pirosas lila elszíneződést tapasztalhatunk.

## 2. 2. Nitrát-észterek és a nitraminok

A vizsgált vegyület		reagens oldat	folyamat	színváltozás
<b>Nitrát-észterek</b>	glicerin-trinitrát (nitroglicerin, NG)	ecetsav	Griess - reakció	Rózsaszín
	pentaeritrit-tetranitrát (nitropenta, PETN)			
	etilén-glikol-dinitrát (nitroglikol, EDGN)			
	cellulóz-nitrát (nitrocellulóz, NC)			
<b>Nitraminok</b>	1,3,5-trinitro-1,3,5-triaza-ciklohexán (hexogén, RDX)	ecetsav	Griess - reakció	Rózsaszín
	1,3,5,- tetranitro-1,4,5,7-tetraza-ciklooktán (oktogén, HMX)			
	trinitro-2,4,6-fenil-metil-nitramin (tetril)			

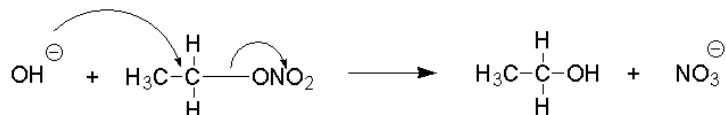
7. táblázat A nitrát-észterek és a nitraminok kolorimetrius vizsgálata

A nitrát-észterek és a nitraminok kolorimetriás vizsgálata esetén a nitrit ionok ( $\text{NO}_2^-$ ) képződése, azaz a lúgokkal vett reakciója szolgálhat kiindulópontul. [39] A nitrit ionokat a klasszikus Griess reakcióval lehet kimutatni. [23] Több folyamat is végbemehet a nitrát-észterek és lúgok között. A nitrát-észter „ $\alpha$ -eliminációja” (szénatomról lehasadó atomcsoport) vezet ebben a folyamatban az  $\alpha$ -hidrogén atom absztrakciójához, melynek végeredménye a nitrit ion és a karbonilvegyület létrejötte. [39]



6. ábra nitrát észter eliminációja

A következő folyamat a nitrát-észterek és lúgok közötti reakció, amely egyszerű hidrolízis.



7. ábra A nitrát-észterek és lúgok közötti reakció

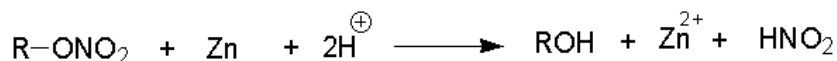
A „ $\beta$  elimináció” a  $\beta$ -hidrogén atom eliminációja:



8. ábra A  $\beta$ -hidrogén eliminációja

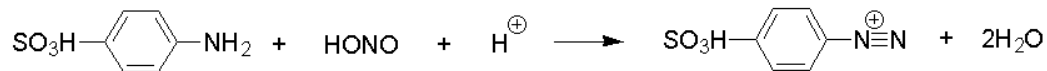
Mindkét folyamat a nitrát ion ( $\text{NO}_3^-$ ) kialakulásához vezet.

A nitrit ion ( $\text{NO}_2^-$ ) előállítható nitrát-észter redukálásával, például cink savas oldatában történhet [40]



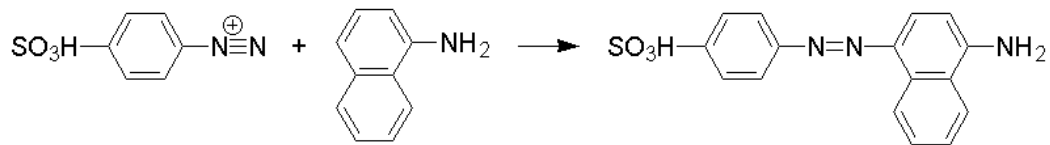
9. ábra A nitrit ion előállítása

A nitraminok alkalikus hidrolízise is a nitrit ionok kialakulásához vezet [19][40]. A nitrit ion Griess reakcióval mutatható ki, a reakciót egy anilin származékkal (például a szulfanilsav  $C_6H_7NO_3S$ , vagy a szulfanilamid ( $C_6H_8N_2O_2S$ ) kezdjük. A reakció savas közegben (pl. ecetsav) hajtjuk végre, ami egy diazónium ion kialakulásához vezet:



10. ábra A nitraminok alkalikus hidrolízise

A diazónium ion a reagenssel lép reakcióba. Ez a reagens általában egy aromás vegyület, elektron többlettel rendelkező mag, amely így könnyen hajlamos az elektrofil reakcióra a diazónium ionnal. A reagens lehet például az 1-naftil-amin ( $\alpha$ -naftil), és a következő reakció játszódik le:



11. ábra A diazónium ion a reagenssel lép reakcióba

A termék egy azo vegyület [22][41], amelynek a színe jellegzetes rózsaszín. A publikációk szerint a nitrit ionok a Griess reakció segítségével történő kimutatási határa a fent említett reagenssel, [22] 0,05 mg (ez az érték az  $NO_2^-$  ionra vonatkozik és nem a robbanóanyagra, amelyből származik). Egy tipikus eljárás a feltételezett robbanóanyag először etanolos KOH -val kezelik. Ilyen körülmények között, nitrát-észterek (például a glicerín-trinitrát (nitroglicerín, NG), a cellulóz nitrát (nitrocellulóz, NC), etilén-glikol-dinitrát (EGDN), és a pentaeritrit-tetranitrát (PETN)), valamint a nitraminok, (mint például RDX (1,3, 5-trinitro-1,3,5-triazacyclohexán), és a HMX (1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraza-ciklooktán)), nitrit iont fognak termelni.

A Griess reakciónak eredményeként egyrészt egy anilin-származékot, másrészt a reakció szempontjából semleges hordozó anyagot kapunk. [19][21] Ha a vizsgát vegyület valóban nitrát-észter vagy nitramin, akkor az analízis eredménye rózsaszínű lesz. Alkalikus hidrolízist követően, a szulfanilsavval és 1-naftil-ammal a nitrát-észterek és nitraminok helyszíni vizsgálatát elvégezhetjük. [42]

A Franchimont teszt [43] során a nitramin nitrit ionná redukálódik cink és az ecetsav által, majd ezután végezzük el a Griess reakciót. Ennek a tesztnek a módosítása hasznos az RDX-ben lévő nitramin szennyeződések azonosítására. [44] A Griess reagens egyéb kialakításai N, N-dimetil-1-naftilamint [44] vagy N-1-naftil – etilén- diamint [45][46] tartalmaznak, mint a kötőanyagot. Feltételezik, hogy ezek a reagensek stabilabb azo színekhez vezetnek. Továbbá arról is beszámoltak, hogy az 1-naftilamin esetleg rákkeltő tulajdonsággal rendelkezhet. A nitro származékok különböző kombinációival és a csatlakozó reagensekkel J. B. Fox foglalkozik még részletesebben. [41]

Egyes, újabb készítmények, a foszforsavat ecetsavval helyettesítik. [46] A sósav, mint oldószer használhatóságáról a Griess reagensek esetében szintén beszámoltak. [45]

A „Birminghami hatok” esete után a Griess teszt erősen vitatottá vált. A kriminalisztikában elfoglalt fontossága miatt ezzel az esettel részletesen kell foglalkozni. Az Egyesült Királyságban, Birminghamben 1974. november. 21.-én este bombát robbantottak két vendéglőben. Huszonegy em-



ber meghalt és 162 megsebesült. A rendőrségre óriási nyomás nehezedett a lakosság részéről, az elkövetők kézre kerítése érdekében. A robbantások után több embert őrizetbe vettek, akiket ezek után „Birmingham hatoknak” neveztek. A rutinjeljárás részeként a bűnügyi helyszínelők a gyanúsítottak kezén anyagmaradványokat kerestek. Törlőkendővel történő mintavételezéssel hajtották végre a helyszíni Griess tesztet. Az ötből kettőnél pozitív eredményre jutottak. A kihallgatás után többen részletes beismerő vallomást tettek. A nyilvános bírósági tárgyalásra 1975 júniusában került sor, ahol a vádat a beismerő vallomásokra, és a kisszámú közvetlen bizonyítékra alapozták. Nyilvánvalóvá vált a kriminalisztikai vizsgálatok fontossága, mivel a vallomásokat erőszakkal is megszerezhették, de elég nehéz meggyőző magyarázatot adni, hogyan került a gyanúsítottak kezére a NG néhány órával a robbantás után? Az igazságügyi szakértő a szakértői véleményében azt állította, hogy azok a nyomok, amelyeket a Griess teszttel végeztek, és amelyek NG jelenlétére utaltak, a gyanúsítottakkal hozhatóak közvetlen kapcsolatba. A tárgyalás végén a „Birminghami hatokat” bűnösnek találták, és életfogytiglani börtönbüntetésre ítélték.

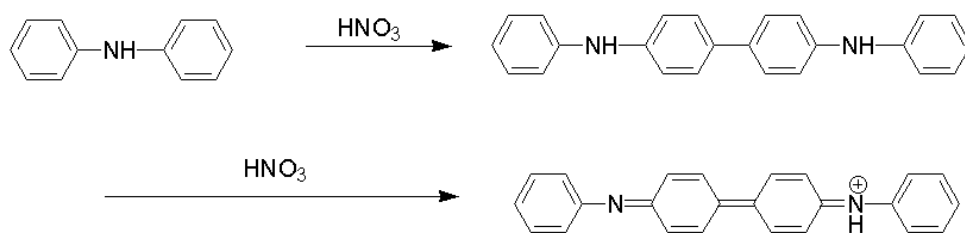
1976 márciusában az első fellebbezést elutasították. Azóta, részben IRA-tól való kiszivárogtatás alapján felmerült annak a lehetősége, hogy az elítéltek ártatlanok. Az írott, és az elektronikus médiában kampányt folytattak a felmentésért, Chris Mullin munkáspárti képviselő lett a kampány vezetője, aki könyvet adott ki e témában, és a Granada Television „World in Action” oknyomozó riportműsorában foglalkozott az esettel. A műsorban eléggé alaposan megvizsgálták az esetet kriminalisztikai szempontból. 1987-ben az ügyet visszaküldték az Egyesült Királyság Fellebbviteli Bíróságára. Ekkor a helyt adtak annak, hogy 1974-ben, az akkor alkalmazott vizsgálati módszer nem volt NG specifikus, de annak ellenére, hogy a bíróság számára is maradt kétely, 1987-ben a fellebbezést elutasította. Azonban az eset nem tűnt el a nyilvánosság elől, és napirenden tartották azt. Bizottságot állítottak fel, amelybe öt igazságügyi és robbanóanyag szakértőt delegáltak, az ügyet újra vizsgálták. Ezúttal a fellebbezés sikeres volt, és 1991. március 14.-én a „Birminghami hatok” elhagyták a börtönt, 16 év után. Mint már említettük, a nitrát-észterekben (például a NG vagy a PETN) és a nitraminokban (például az RDX vagy a HMX), lévő nitrit ionok lúgos körülmények között a Griess reakció segítségével könnyen kimutathatóak. Ugyanakkor a Griess teszt önmagában nem alkalmas a robbanóanyagok megkülönböztetésére. Sőt, a nitrát-észterek, mint például a NC, amelyet a lakkokban és a festékekben is felhasználnak, ugyanazt a rózsaszín színt fogja produkálni. A Griess reakcióval történő robbanóanyag detektálásakor „hamis pozitív” eredményt kaphatunk a nitrát ionok lehetséges jelenléte miatt, valamint néhány véletlenszerű redukáló anyagtól. Ebben a helyzetben a nitrát ionok ( $\text{NO}_3^-$ ) nitrit ionokká ( $\text{NO}_2^-$ ) redukálódhatnak, ami pozitív eredményt adhat az adott reakcióban. Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a Griess tesztre csak, mint egy előzetes vizsgálati módra lehet tekinteni. Az eredményeket meg kell erősíteni a laboratóriumban, mielőtt a bíróságon felhasználhatnánk.

A „Birminghami hatok” esete miatt ez az eljárás hitelét veszítette, mint bizonyítási eljárás. Hangsúlyozni kell azonban, hogy ha megfelelően használják, ez egy kiváló eljárás, amely a helyszíni vizsgálat alapjául szolgálhat. Ilyen robbanóanyag felderítő készlet például az ETK (Explosive Testing Kit), amely részben a Griess teszten alapul, és például Izraelben is sikerrel alkalmazzák többféle terrorgyanús vizsgálat során [47] (lásd alább). A Griess nagyobb fokú specifikussághoz vezet, szemben a redoxi reakcióval, ahol csak az elektron (ok) átvitele történik. Azonban nem lehet eléggé hangsúlyozni, hogy ez a teszt egy előzetes vizsgálat, és annak eredményeit egy általánosan elfogadott laboratóriumi módszerrel is alá kell támasztani.

A lényeg, hogy amikor megfelelő módon használják, a kolorimetriás tesztet, akkor valóban jelentősen segíti a vizsgálatot, és nem kell csak azért elvetni, mert létezik jobb és pontosabb laboratóriumi technika.

Ezek közül az elemzések közül a legmeghatározóbb, és legelterjedtebb a Griess reakció, de ennek ellenére ismernünk kell, ezekkel a paraméterekkel működő hasonló vizsgálatokat, és azoknak végtermékeként megjelenő színeket.

A legújabb kifejlesztett technológiák egyike a DPA teszt, ami szintén a nitrát-észterek és nitraminok terepen történő észlelésére szolgáló technika. [19][21][22][48] A reagens (1% DPA tömény kénsav) oxidálódik a robbanóanyagok jelenlétében és a folyamat eredménye mélykék szín lesz. Ez a reakció, egy klasszikus nitrát ionokra vonatkozó teszt [22], nem specifikus, csak az oxidáció - redukciót foglalja magában, és nem az atomok szerepelnek a „színes” végtermékben. Ezért ezt a kék színt más redoxi folyamattal is produkálhatjuk:



12 ábra Egy példa a más redoxi folyamattal előállított kék színre

Ismernünk kell még a difenil-benzidin [42][48] és a nitro-difenil-amin reakciója. Ennél az esetenél az alkaloid brucin és a tömény kénsav oldatának segítségével [22][42][48], szintén a nitrát-észterek és a nitraminok azonosíthatók narancs-piros szín alapján, ami valószínűleg brucin oxidációjának a következménye.

Számos kolorimetriás reakcióról számoltak be a heterociklikus nitraminok RDX és HMX esetében is. [44] Ezeket a nitraminokat formaldehidben oldják fel, közben tömény kénsavval kezelik, [22] ennek a reakciónak az eredményeként lila-rózsaszín szín lesz látható. Egy másik, nem specifikus színes reagens az RDX és a HMX kimutatására a timol tömény kénsavas oldata [21,54]. Ennek a reakciónak a végterméke piros színű lesz.

### 2. 3. Rögtönzött robbanóanyagok, amelyek nem tartalmaznak nitro csoportot

A vizsgált vegyület		reagens	folymat	színváltozás
<b>Peroxidok</b>	triaceton-triperoxid (TATP)			zöld színű
	hexametilén-triperoxid-diamin (HMTD)			
<b>Salétromsav sói</b>	Karbamid-nitrát	<i>p</i> -DMAC		vörös színű
		<i>p</i> -DMAB		sárga színű
		brómfenol		sárga színű

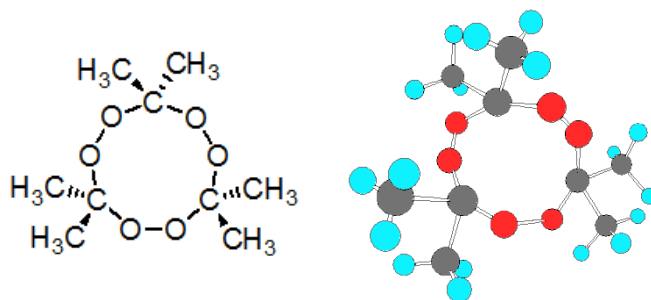
8. táblázat A peroxidok és a salétromsav sóinak kolorimetrikus vizsgálata

Az 1970-es évektől kezdődően bukkannak fel az olyan improvizált robbanóanyagok, amelyek nem tartalmaznak nitro csoportot. Ebből a szempontból különösen fontos az olyan vegyület, amely szerves peroxidot tartalmaz, és amely nem tartalmaz nitro csoportot, például a karbamid-

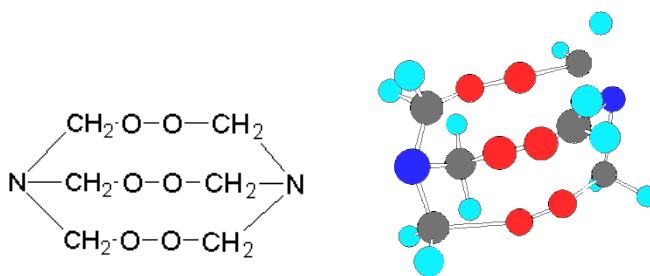
nitrát. A szokásos kolorimetriás vizsgálat, amellyel a nitro csoportot tartalmazó vegyületeket detektálhatjuk, nem alkalmas ebben az esetben. Ezért új típusú vizsgálatokat kellett kidolgozni.

### 2. 3. 1. Peroxid-alapú robbanóanyagok

20 évvel ezelőtt vált ismertté a bűnöző szervek számára két olyan improvizatív robbanóanyag, amely peroxid csoportot tartalmaz. Mindkettő, a triaceton-triperoxid (TATP) és a hexametilén-triperoxid-diamin (HMTD) alapanyagai is szabadon beszerezhetőek, és előállításuk is nagyon egyszerű. Mindkét vegyülettel először az izraeli rendőrség találkozott a 70-es évek végén [51], de a TATP-vel kapcsolatos terrorcselekmény az Egyesült Államokban is, valamint Európában is előfordult. [52]



13. ábra A TATP



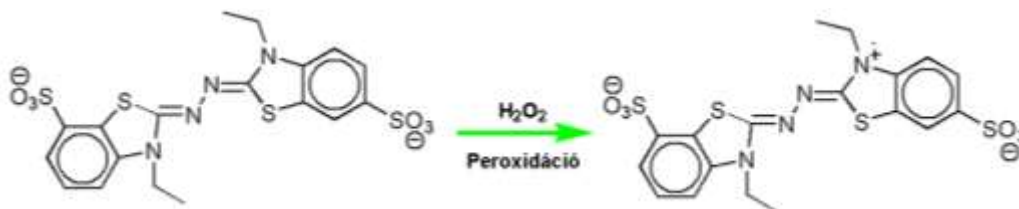
14. ábra A HMTD

A könnyű elkészíthetősége, és a magas érzékenysége miatt mindkét két peroxid nagy veszélyt jelent. Az optimális védelmi intézkedések kialakításáért, számos kutatás folyik e robbanóanyagok fizikai tulajdonságainak megismeréséért. [53][54][55] A HMTD-vel 1979-ben következett el először terrorcselekmény. Az izraeli rendőrség laboratóriumában sikerült első ízben a robbanóeszközből kivont fehér port analizálni. Az ismeretlen anyagot egy műanyagból, és nem fémből készült szerkezetben, egy a Jordán folyón átkelő nőnél találták meg. Ezt a vegyületet normál TLC eljárással próbálták meg analizálni, így az infravörös spektroszkópiával (IR) nem tapasztaltak sem a nitro csoportnak sem az aromás vegyületeknek megfelelő abszorpciós sávot. De miután a tömegspektroszkópiát IR spektroszkópiával kombinálva használták, akkor tudták meghatározni a szerves peroxid szerkezetét. [51]

A TATP-vel 1980-ban találkoztak először Izraelben. A vegyületet szerkezetét tömegspektroszkópiás, vagy NMR spektroszkópiával határozhatjuk meg. [51] Mivel mindkét peroxidnak a fizikai tulajdonságai, megjelenése (fehér színű, kristályos por) nem specifikus, ezért égető szükség volt arra, hogy egy gyors és egyszerű kolorimetriás eljárást dolgozzanak ki azok pontos azonosítására. 1999-ben szabadalmaztatta Keinan és Itzhaky a Peroxid Explosive Tester-t (PET™) [56], amely lehetővé teszi a TATP gyors helyszíni kimutatását. A peroxid tartalmú

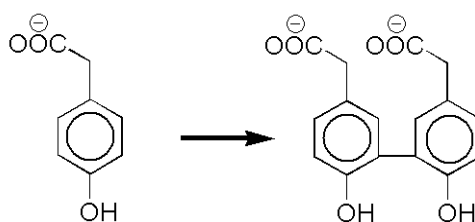
robbanóanyagot savas közegben hidrogén-peroxiddal hidrolizálják, amely oxidálja a vegyületet, és ez a folyamat színváltozással jár. Ez a reakció egy általuk szabadalmaztatott enzim jelenlétében játszódik le, amely katalizálja a hidrogén-peroxiddal lejátszódó oxidációs folyamatot. A szerves peroxidok esetében az eredmény zöldes-kék színű lesz, és a kimutatási határ mikro gramm alatti tartományba esik. Az eszköz leginkább egy tollra hasonlít, amelyhez egy három részből álló, cserélhető fejlet lehet csatlakoztatni (szubsztrátum, savas közeg és enzim).

Egy másik, hasonló elven működő eszközt, néhány évvel később Schulte - Ladbeck, Kolla, és Karst mutatott be. Itt először az ismeretlen mintát katalizálják, hogy eltávolítsák a hidrogén peroxid nyomokat, így szelektálva a peroxid alapú fehérítőket, amelyet például a kereskedelmi forgalomban kapható mosószerek is tartalmazhatnak. [57] Itt azonban a savas bomlástermékek helyett, a „PET™”-el [45] ellentétben, most az UV sugárzás hatására a maradék bomlik a hidrogén-peroxiddá. A szubsztrátumot szórjuk a 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolin)-6-szulfonátra (ABTS), az oxidáció eredménye zöld színű ABTS kation lesz. Az ABTS oxidációja a hidrogén-peroxiddal peroxidáz [58] jelenlétében a következő:



15. ábra Szubsztrátumot szórunk az ABTS-re. és az eredmény ABTS\*<sup>+</sup>Zöld kation lesz

Az észlelési határok a TATP estében  $8 \times 10^{-6}$  mol/dm<sup>3</sup> és a HMTD esetében  $8 \times 10^{-7}$  mol/dm<sup>3</sup>. Ha *p*-hidroxi-fenilacetil savat (*p*-HPAA) használnak oxidációs szubsztrátumként (hordozóként) ABTS helyett, akkor fluoreszcens dimer alakul ki. Bár az érzékenység csökken, ez a dimer kimutatható spektrofotometriával. Mindkét módszer lehetővé teszi az TATP és a HMTD koncentráció fél kvantitatív becslését [46] is. A *p*-HPAA dimerizációja a hidrogén-peroxid a peroxidáz jelenlétében a következő:



16. ábra A *p*-HPAA dimerizációja

A TATP és más szerves peroxidok nem enzimátikus színreakcióját publikálta A.W. Apblett. [58][59] A sötétkék színű hidrogén molybdénium bronze (H<sub>x</sub>MoO<sub>3</sub>) szuszpenziója a TATP-vel való oxidációjának hatására sárga színű lesz. Ugyanezzel a reagenssel semlegesíthetjük az érzékeny robbanóanyagot, és a kék szín jelzi a teljes semlegesítést. A TATP reakcióját mutatja be a következő egyenlet:

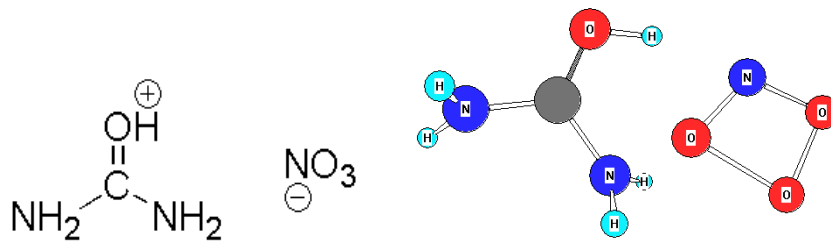


17. ábra A TATP semlegesítése

### 2. 3. 2. Karbamid-nitrát

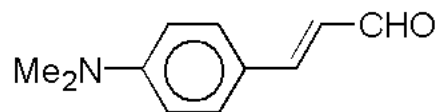
A karbamid-nitrát egy hatékony, és házilag is előállítható robbanóanyag, amelyet előszeretettel készítenek, és alkalmaznak a terroristák.

Gyorsan és egyszerűen elkészíthető, ha a salétromsavhoz a karbamid hűtött vizes oldatát adjuk. Az így keletkező fehér csapadékot leszűrjük, majd hideg vízben mossuk, utána levegőn kiszárítjuk. Még egy laikus is el tudja készíteni ezt a vegyületet otthoni körülmények között nagy mennyiségben. [60] A karbamid-nitrát tiszta formában fehér színű kristályos por, amely ránézésre alig különböztethető meg bármely más „közönséges fehér színű portól” (pl. a cukortól). Azt feltételezik, hogy 1993 februárjában a World Trade Center ellen elkövetett első terrorcselekmény alkalmával közel fél tonna ilyen típusú robbanóanyagot használtak fel [60]. Izraelben az egyik legelterjedtebb robbanóanyag, a karbamid-nitrát, amelyet a palesztin terroristák használnak, és ez oka számos ember halálának, illetve a bekövetkezett káreseményeknek. A karbamid-nitrát, mint robbanóanyag, nagymennyiségű előállításáról számol be a Defense Evaluation and Research Agency (DERA, UK) és az FBI. [61]



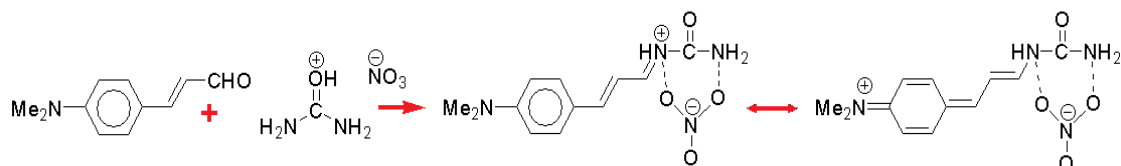
18. ábra Karbamid-nitrát

J. Almog egy egyszerű és gyors módszert dolgozott ki a karbamid-nitrát kolorimetriás analízisére. Itt a karbamid-nitrát és *p*-dimetilamino-cinnamaldehyd (*p*-DMAC) (dimetil-amino fahéjaldehyd) etanolos oldata lép egymással reakcióba. [34] A kölcsönhatás kezdetétől számított egy percen belül vörös színű pigment képződik, ugyanakkor a vegyület szerkezete röntgensugaras kristallográfiával is meghatározható. [63] Láthatóvá válik a rezonancia hibrid a protonált Schiff bázis és egy quinoid rendszer között. Az észlelési határ filter papíron ~0,1 mg/cm<sup>2</sup>.



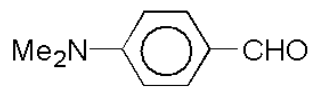
19. ábra *p*-DMAC

A *p*-DMAC és a karbamid-nitrát reakciója, mikor is vörös színű pigment keletkezik [62][63] a következő:



20. ábra A *p*-DMAC és a karbamid-nitrát reakciója, mikor is vörös színű pigment keletkezik

Azonban a karbamid (amely a karbamid-nitrát kiindulási anyaga) és azok a vegyületek, mint például a műtrágya, és az a gyógyszer, amely karbamid molekulát és különböző aminokat tartalmaz nem reagál a *p*-DMAC-vel.



21. ábra *p*-DMAB

A *p*-dimetil amino benzaldehyd (*p*-DMAB), amely egy vinillel rövidebb, mint a *p*-DMAC, hasonló feltételek mellett reagál a karbamid-nitráttal, és sárga színt láthatunk a vizsgálat végén. [62][63] Ennél az eljárásnál, a karbamid-nitrát, szemben a karbamiddal, erősen savas (pH 1-2) és a salétomsav jelenléte miatt fele akkora. Így, bár a semleges karbamid nem lép reakcióba a *p*-DMAC-vel, a karbamid-nitrát biztosítja a szükséges savasságot, hogy a reakció bekövetkezzen. Valójában a *p*-DMAC nem mutatja ki a karbamidot, de uronium ion igen („Uronium”, mint „ammónium” a helyes kifejezés a pozitív ionra, amely karbamidhoz egy proton vagy más pozitív ion hozzáadásával származik. [62][63] Ezért a helyes név karbamid-nitrátra uronium nitrát lenne).

Izraelben A. Bornstein fejlesztett ki a karbamid-nitrátra egy másik kolorimetriás tesztet, ami kevésbé specifikus, de a használata gyors és egyszerű. Ez azon a tényen alapul, hogy a karbamid-nitrát erősen savas, így a kék színű brómfenol (2-Brómo-1-hidroxi-benzén, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>BrO) sárgára változik a reakció hatására, ha már nyomokban karbamid-nitrát [64] van jelen

### 3. A TEREPEEN ELVÉGEZHETŐ VIZSGÁLATOK

Az előzőekben a robbanó anyagok analizálásáról írtam aszerint, hogy melyik kémiai vegyület milyen módszerekkel azonosítható. Ebben a fejezetben szeretnék kitérni a tesztek terepen való használhatóságára, illetve automatizálhatóságára. A mai fenyegetett világban sokszor szükséges a terepen végzett vizsgálat, például a gyanúsítottokról származó anyagmaradványok, vagy az el nem robbant robbanóanyagok elemzése, vagy a határállomások, és repülőterek ellenőrzése. Természetesen ezek a vizsgálatok csak a robbanóanyag jelenlétét igazolják, amelyek csak laboratóriumi tesztekkel együtt lehetnek bizonyító erejűek. Mivel a helyszíni tesztek nem csak olyan személy végezheti, aki tudományos ismeretekkel rendelkezik a kémiai, fizikai analitika területén, másrészt a körülmények sem a fejlett laboratóriumi környezetet biztosítják, ezért az eszköz használatának, és az eredmények analizálásának, egyszerűnek és gyorsnak kell lennie. Ez alapján csoportosítom a kolorimetriás tesztek.

Az első csoportba a **teljesen manuális vizsgálatok** tartoznak.

1. Ilyen eszköz például az „Explosives Handling Detection Kit”, amelyet Newhouser és Dougherty fejlesztett ki 1972-ben. [65] Ezzel az eszközzel három fajta robbanóanyag mutatható ki, melyek a következők: „TNT alapú”, „RDX alapú” és a „NG alapú” vegyület. Egy speciális poliészter szalag segítségével gyűjtik össze a gyanúsított kezéről illetve ruházatáról az első két csoportba tartozó robbanóanyag nyomokat. Az NG-ből származó párát pedig polietilén zsákba gyűjtik, amit ezek után átpréselnek a reagenssel megfelelő módon előkezelt üvegyöngyökön. A reagens oldat a következő lesz: nitrovegyületek („TNT alapú”) estén az

etanolos NaOH, a nitramin alapú („RDX alapú”) robbanóanyagok esetén timol koncentrált sósavban, és a nitrát-észter alapú („NG alapú”) robbanóanyagok esetén pedig N, N-di (naftalén-1-il)-N, N-difenil-benzidin. Newhouser és Dougherty tanulmánya [65] útmutatást ad a mintavételezési eljárás szabályairól, arról, hogy hogyan kell a gyanúsítottat átvizsgálni, a nyomokat honnan gyűjtsék be, a valamint a gyanúsított ruházatáról (zsebéből), illetve a kezéről (pl. a körmök alatt, a gyűrűk alatt) a nyomot hogyan rögzítsék.

2. Az „ETK” (Explosives Testing Kit) első változatát 1986-ban Izraelben hozták forgalomba, amely a szerves robbanóanyagok analízisét két lépésben végzi el. Az első lépés tulajdonképpen egy módosított Janowski reakció [24]: A KOH etanolos, vagy dimetil-szulfidoxidos oldatát teszik a mintához. Ha nitro bázisú szerves vegyület van jelen, akkor egy jellemző színt (pl. a TNT esetén lila) kapunk. Ha a vizsgált anyag nem nitro bázisú vegyület, akkor a nitrát-észterek vagy a nitraminok esetében nitrit ionok képződnek (lásd fent). A második lépés, a nitrit ionok ( $\text{NO}_2^-$ ) detektálása, a Griess reakció által, alkalmazva a N-1-naftiletilén-diamint, és a szulfanil-amidot, mint reagenst. Mivel a lúgos oldat hatására a nitrát-észterek is nitrát ionokhoz ( $\text{NO}_3^-$ ) vezetnek, amelynek a következménye, hogy nem jön létre kolorimetrikus reakció (lásd fent), ezért a fenti készítmény redukálószerrel, például aszkorbinsavat tartalmaz. Így a nitrát ionok a nitrit ionokká redukálódnak, ezáltal növelve az észlelési határt (LOD). Az eszköz érzékenységét a TNT esetében  $10^{-7}$ g-ban, a NG estében, és  $10^{-8}$ g-ban határozták meg. Az eredeti ETK-t módosították a magasabb érzékenység és a stabilitás érdekében [66], amelyet Expray™ [67] néven hoztak forgalomba, a készlet ugyanezeket a reagenseket használja csak nem szóró palackos, hanem cseppentős kivitelben.

3. Egy másik technika ezen a területen a talajban előforduló TNT, 2,4-dinitro (2,4-DNT) és RDX kimutatására a következő [50]. A talajban lévő RDX szűrésével kezdődik a folyamat, majd az esetleges szennyeződéseket el kell távolítani cink por segítségével. A cink hatására az RDX mennyisége csökken, ezért a keletkező ionok a Griess reakció által észlelhetőek. Az észlelési határ, a becslések szerint, 1 kg talajban 1 mg a TNT vagy RDX és 2 mg 2,4-DNT. A reagens oldat: a TNT esetében a KOH (piros színű lesz), és a 2,4-DNT esetében pedig a nátrium-szulfit lesz (kék-lila színű lesz).

4. A nitro bázisú szerves robbanóanyagok kolorimetriás kimutatásának egy új változatát James Arbutnot mutatja be. Ennek alapja az a kolorimetriás reakció, amikor a nitro bázisú szerves robbanóanyag, a Jeffamine T-403 –t tartalmazó, polivinil kloriddal lép reakcióba. Ezt a technológiát a TNT és a DNT pára észlelésekor tesztelték, és különböző abszorpciós spektrum jött létre. [51]

A következő csoportba a **félautomata vizsgálati eszközök** tartoznak.

A legújabb ilyen típusú készüléket a Lawrence Livermore National Laboratory fejlesztette ki, és „ELITE™” néven hozta forgalomba. Ez az eszköz az ETK-hoz hasonlóan észleli a katonai, valamint a házi készítésű robbanóanyagokat, a Meisenheimer - Griess reakció segítségével. Mivel a mintavételezést egy fűtőszál segíti, ezért így az ELITE™ észlelési határa 20-50-szer magasabb, mint a többi kereskedelemben beszerezhető ilyen típusú eszköz. [69] Így a TNT esetében 50ng, a 2,4-DNT esetében 100 ng, míg a tetril esetében 50 ng. Az alsó küszöb érték 25-50 ng között mozog a PETN, az RDX, a HMX és a NC estén. [69]

### A harmadik csoportba a teljesen automatizált eszközök tartoznak.

1. V.K. Pamula, 2004-ben publikált egy olyan detektálásáról, amit a terepen teljesen automatizált módon hajthatnak végre. A mikro liternyi ( $10^{-6}$  l) mennyiségben előforduló TNT és a dimetil-szulfoxid vagy a KOH vizes oldatának reakciója egy programozott chipen megy végbe, így hozva létre a jellegzetes színt. A TNT észlelési határa a lineáris tartományban 12,5-50 mg/ml. [68]
2. A peroxid alapú robbanóanyagok kolorimetriás vizsgálata, amely például a TATP-re, és a HMTD –re vonatkozik az előzőekben már bemutattam. Az ilyen típusú robbanóanyagok kolorimetriás vizsgálatáról publikált E. Keinan 2006 februárjában. Az általa kifejlesztett eszközt a Schulte-Ladbeck forgalmazza „PET™” néven[56]. Ez magában foglal egy olyan elővizsgálati részt, amely által elkerülhető a hamis-pozitív válasz a nem robbanásveszélyes peroxidok esetében. [57]
3. A molibdén hidrogén bronz oldat és a TATP kolorimetrikus reakciója szintén ajánlott, mint helyszíni tesztvizsgálat. A tesztcsíkot az előbbi oldattal átítatják, majd a TATP, vagy a hidrogén-peroxid jelenléte miatt látható kék szín a butanol hatására kifehéredik. [58][59]
4. A karbamid-nitrát és *p*-DMAC [62] kolorimetriás reakciója is elfogadott helyszíni vizsgálat, amely a kereskedelmi forgalomban, mint „UN-1™” néven lehet beszerezni. A mintát vagy a gyanús területet a reagenssel (0,4%-os etanolos oldat) permetezzük, majd az egy percen belül megjelenő piros szín a karbamid-nitrátra jelenlétére utal. [70]

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] JERICIC, A., & NEHORAI, A. (2000). Landmine detection and localization using chemical sensor array processing. IEEE Transactions on Signal Processing, 48, 1295
- [2] HARPER, R. J., ALMIRALL, J. R., & FURTON, K. G. (2005). Identification of dominant odor chemicals emanating from explosives for use in developing optimal training aid combinations and mimics for canine detection.
- [3] Lareau, R. T. (2004). In Proceedings of the NATO advanced research workshop on electronic noses and sensors for the detection of explosives, NATO Science Series II. Mathematics, Physics and Chemistry – v. 159 (pp. 289-299). Dordrecht: Kluwer
- [4] NAMBAYAH, M., & QUICKENDEN, T. I. (2004). A quantitative assessment of chemical techniques for detecting traces of explosives at counter-terrorist portals. Talanta, 63, 461-467
- [5] KUZNETSOV, A. V., & OSETROV, O. I. (2006). Detection of improvised explosives (IE) and explosive devices (IED) - Overview. In H. Schubert & A. Kuznetsov (Eds.), Proceedings of the NATO advanced workshop on detection and disposal of improvised explosives, NATO Security through Science Series – B: Physics and Biophysics. (pp. 7-26) Dordrecht: Springer
- [6] BOBROVNIKOV, S. (2006). Development of methods and equipment for detection of explosives vapors in the atmosphere with laser. In H. Schubert & A. Kuznetsov (Eds.), Proceedings of the NATO advanced workshop on detection and disposal of improvised explosives, NATO Security through Science Series – B: Physics and Biophysics. (pp. 51-68). Dordrecht: Springer
- [7] PRIMERA-PEDROZO, O. M., PACHECO-LONDONO, L., RUIZ, O., RAMIREZ, M., SOTO-FELICIANO, Y. M., DE LA TORRE-QUINTANA, L. F., & HERNANDEZ-RIVERA, S. P. (2004). Sensors, and command, control, communications, and intelligence (C3I) technologies for homeland security and homeland defense IV. In: Edward M. Carapezza (Ed.), Proceedings of the SPIE (Vol. 5778, p. 543). Bellingham, WA: SPIE
- [8] BARRETO-CABAN, M. A., PACHECO-LONDONO, L., RAMIREZ, M. L., & HERNANDEZ-RIVERA, S. P. (2006). Sensors, and command, control, communications, and intelligence (C3I) technologies for homeland security and homeland defense V. In Edward M. Carapezza (Ed.), Proceedings of the SPIE (Vol. 6201, p. 620129). Bellingham, WA: SPIE



- [9] MERCADO, L., TORRES, P. M., GOMEZ, L. M., MINA, N., HERNANDEZ, S. P., LAREAU, R. T., CHAMBERLAIN, R. T. & CASTRO-ROSARIO, M. E. (2004). Synthesis and characterization of high-energy nano particles. *Journal of Physical Chemistry B*, 108, 12314-12317
- [10] CRABBE, S., ENG, L., GARDHAGEN, P., & BERG, A., (2005). Detection and remediation technologies for mines and minelike targets X. In Russell S. Harmon, J. Thomas Broach, John H. Holloway, Jr. (eds.), *Proceedings of the SPIE* (Vol. 5794, p. 762). Bellingham, WA: SPIE
- [11] SJOKVIST, S., UPPSALL, M., & LETALICK, D. (2006). Detection and remediation technologies for mines and minelike targets XI. In J. THOMAS BROACH, RUSSELL S. HARMON, JOHN H. HOLLOWAY, JR., (Eds.), *Proceedings of the SPIE* (Vol. 6217, p. 62170J). Bellingham, WA: SPIE
- [12] BATLLE, R., NERIN, C., CRESCENZI, C., & CARLSSON, H. (2005). Supercritical fluid extraction of energetic nitroaromatic compounds and their degradation products in soil samples. *Analytical Chemistry*, 77, 4241-4247
- [13] BAEZ, B., FLORIAN, V., HERNANDEZ-RIVERA, S. P., CABANZO, A., CORREA, S., IRRAZABAL, M., BRIANO, J. G., & CASTRO, M. E. (2006). DETECTION AND REMEDIATION TECHNOLOGIES FOR MINES AND MINELIKE TARGETS XI. IN J. THOMAS BROACH, RUSSELL S. HARMON, & JOHN H. HOLLOWAY, JR. (EDS.), *PROCEEDINGS OF THE SPIE* (VOL. 6217, P. 62171M).
- [14] LOVELL, J. S., & FRENCH, P. D. (2004) Detection and remediation technologies for mines and minelike targets IX. In Russell S. Harmon, John H. Broach, & John H. Holloway, Jr. (Eds.), *Proceedings of the SPIE* (Vol. 5415, p. 494). Bellingham, WA: SPIE
- [15] COTTE-RODRIGUEZ, I., HANDBERG, E., NOLL, R. J., KILGOUR, D. P. A., & COOKS, R. G. (2005). Improved detection of low vapor pressure compounds in air by serial combination of singlesided membrane introduction with fiber introduction mass spectrometry (SS-MIMS-FIMS). *Analyst*, 150, 679-686
- [16] KANNAN, G. K., NIMAL, A. T., MITTAL, U., YADAVA, R. D. S., & KAPOOR, J. C. (2004). Adsorption studies of carbowax coated surface acoustic wave (SAW) sensor for 2,4 dinitrotoluene (DNT) vapour detection.
- [17] OXLEY, J. C., SMITH, J. L., KIRSCHENBAUM, L., SHINDE, K. P., & MARIMGANTI, S. (2004). Sensors, and command, control, communications, and intelligence (C3I) technologies for homeland security and homeland defense III. In Edward M. Carapezza (Ed.), *Proceedings of the SPIE* (Vol. 5403, p. 246). Bellingham, WA: SPIE
- [18] Sleeman, R., Richards, S. L., Fletcher, I., Burton, A., Luke, J. G., et al (2004). In *Proceedings of the NATO advanced research workshop on vapour and trace detection of explosives for anti-terrorism purposes*. NATO Science Series II. Mathematics, Physics and Chemistry (V. 167, p. 133-142). Dordrecht: Kluwer
- [19] J. YINON AND S. ZITRIN, *The Analysis of Explosives*, Pergamon Press, Oxford, Chapter 2, 1981, pp. 29–46 and references cited within.
- [20] J. YINON AND S. ZITRIN, *Modern Methods and Applications in Analysis of Explosives*, John Wiley, Chichester, 1993, Chapter 2, pp. 33–41 and references cited within.
- [21] E. F. REESE, IN B.T. FEDOROFF AND D.E. SHEFFIELD (eds), *Encyclopedia of Explosives and Related Items*, Vol. 3, Picatinny Arsenal, Dover, NJ, 1966, p. C405.
- [22] F. FEIGEL AND V. ANGER, *Spot Tests in Inorganic Analysis*, Elsevier, Amsterdam, 1972.
- [23] J. P. GRIESS, *PHILOS. TRANS. R. SOC. (Lond.)*, 154 (1864) 667–73.
- [24] J. V. JANOWSKI AND L. ERB, *BER.*, 19 (1886) 2156.
- [25] F. L. English, *Anal. Chem.*, 20 (1948) 745.
- [26] O. BÖHM, *Explosivstoffe*, 14 (1966) 97.
- [27] S.A.H. AMAS AND H.J. YALLOP, *Analyst*, 91 (1966) 336.
- [28] D.J. GLOVER AND E.G. KAYSER, *Anal. Chem.*, 40 (1968) 2055.
- [29] J. MEISENHEIMER, *Ann.*, 323 (1902) 205.
- [30] J. M. F. DOUSE AND R.N. SMITH, *J. Energetic Mater.*, 4 (1986) 169.
- [31] Y. BAMBERGER, S. LEVY, T. TAMIRI AND S. ZITRIN, in *Proc. 3rd Int. Symp. on Analysis and Detection of Explosives*, Mannheim-Neuostheim, Germany, 1989, p. 4.1.
- [32] M. FRANCK-NEWMANN AND P. JÖSSANG, *J. Chromatogr.*, 14 (1964) 280.
- [33] V. ETTTEL, J. POSPISIL AND Z. DEYEL, *Chem. Listy*, 52 (1958) 623.
- [34] S. K. YASUDA, *J. Chromatogr.*, 13 (1964) 78.
- [35] R. JENKINS AND H.J. YALLOP, *Explosivstoffe*, 18 (1970) 139.
- [36] A. C. BRATTON AND E.K. MARSHAL, *J. Biol. Chem.*, 128 (1939) 537.
- [37] A. J. GLAZKO, L.M. WOLF AND W.A. DILL, *Arch. Biochem.*, 23 (1949) 411.
- [38] R. BOSCHAN, R.T. MERROW AND R.W. VAN DOLAH, *Chem. Rev.*, 55 (1955) 485.
- [39] E. SCHULEK, K. BURGER AND M. FEHER, *Z. Anal. Chem.*, 177 (1960) 81.
- [40] T. URBANSKI, *Chemistry and Technology of Explosives*, The Macmillan Co., New York, Vol. 3, 1964, p. 82.

- [41] M. L. ILOSVAY, *Bull. Soc. Chim.*, 2 (1889) 388.
- [42] M. I. FAUTH AND G.W. ROECKER, *J. Chromatogr.*, 18 (1965) 608
- [43] E. W. MALMBERG, K.N. TRUEBLOOD AND T.D. WAUGH, *Anal. Chem.*, 25 (1953) 901.
- [44] D. M. COLMAN, Rapid Identification of Some Explosives by the Use of Spot Tests, TID-4500 UC-45, Monsanto Research Corporation, Mound Laboratory, Miamisburg, OH, 1973.
- [45] A. BASCH, Y. MARGALIT, S. ABRAMOVICH-BAR, Y. BAMBERGER, D. DAPHNA, T. TAMIRI AND S. ZITRIN, *J. Energetic Mater.*, 4 (1986) 77.
- [46] Code of Federal Regulations, 29 CFR 1910.1011, Ch. XVII (7-1-90 Edition), published by the Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration, US Government Printing Office, Washington,
- [47] T. M. FINNIE AND H.J. Yallop, *Analyst*, 82 (1957) 653.
- [48] K. R. K. RAO, A.K. BHALLA AND S.K. SINHA, *Curr. Sci. (India)*, 33 (1964) 12.
- [49] R. G. PARKER, *J. Forensic Sci.*, 20 (1975) 257.
- [50] S. ZITRIN, S. KRAUS AND B. GLATTSTEIN, *Proc. Int. Symp. Anal. Det. Explosives*, Quantico, VA,
- [51] D. J. REUTTER, E.C. BENDER AND T.L. RUDOLPH, *Proc. Int. Symp. Anal. Det. Explosives*, Quantico, VA, FBI,
- [52] M.L. FULTZ, *Detection and Characterization of Explosives and Explosive Residues, A Review 2001–2004*,
- [53] F. DUBNIKOVA, R. KOSLOFF, Y. ZEIRI AND Z. KARPAS, *J. Phys. Chem.*, 106 (2002) 4951.
- [54] R. SCHULTE-LADBECK, P. KOLA AND U. KARST., *Anal. Chem.*, 75 (2003) 731.
- [55] E. KEINAN AND H. ITZHAKY, *US Pat. Appl.* 09/914,268 (1999).
- [56] R. SCHULTE-LADBECK, P. KOLLA AND U. KARST, *ANALYST*, 127 (2002) 1152.
- [57] A. W. APBLETT, B.P. KIRAN, S. MALKA, N.F. MATERER AND A. PIQUETTE, *CERAM. TRANS.*, 172 (2006) 29.
- [58] A.W. APBLETT AND N.F. MATERER, *Abstracts of Papers*, 231st ACS National Meeting, Atlanta, GA, USA
- [59] FREDERIC WHITEHURST, FBI Lab Whistleblower, testifying in the World Trade Center Bombing Trial, 14 August 1995 (<http://www.usdoj.gov/oig/fbilab/04wtc97.htm>).
- [60] S.A. PHILLIPS, A. LOWE, M. MARSHALL, P. HUBBARD, S.G. BURMEISTER AND D.R. WILLIAMS, *J. Forensic Sci.*
- [61] J. ALMOG, A. KLEIN, T. TAMIRI, Y. SHLOOSH AND S. ABRAMOVICH-BAR, *J. FORENSIC. SCI.*, 50 (2005) 582.
- [62] N. LEMBERGER AND J. ALMOG, *J. FORENSIC SCI.*, 52 (2007) 1107.
- [63] J.E. WORSHAM AND W.R. BUSING, *ACTA CRYSTALLOGR. B*25 (1969) 572.
- [64] C.R. NEWHOUSER AND P.M. DOUGHERTY, *Explosive Handling Kit Technical Bulletin* 33–72,
- [65] National Bomb Data Center, US Department of Justice, Gaithersburg, MD, USA, 1972.
- [66] Y. Margalit, *US Pat.* 5,480,612 (2 January 1996).
- [67] M. ROTHWELL AND D. SGOFF, *Praxis der Naturwissenschaften, Chemie in der Schule*, 53 (2004) 21.
- [68] V. K. PAMULA IN J. GARDNER AND J. Yinon (eds), *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Electronic Noses & Sensors for the Detection of Explosives*, Warwick, Coventry, UK, 30 September–3 October 2003, *NATO Science Series, II: Mathematics, Physics and Chemistry*, 159 (2004), 279–288, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [69] J. G. REYNOLDS *Abstracts of Papers*, 230th ACS National Meeting, Washington, DC, AN 2005:736340.
- [70] J. ALMOG, *Detection of uronium salts*, *US Pat. Appl. Publ.*, US 2006084176 (2006).

Prof. Dr. Lukács László<sup>1</sup>

## BOMBAFENYEGETÉS – A ROBBANÓANYAGOK TÖRTÉNETE<sup>2</sup>

*A robbanóanyag fogalma, általános jellemzői. A robbanóanyagok felosztása felhasználásuk szerint. Az egyes kategóriák jellemzői. Robbanóanyagok iniciálása. A robbanóanyagok történeti fejlődése, az egyes robbanóanyagok alkalmazása a katonai és az ipari robbantástechnikában.*

### **BOMB ATTACKS – HISTORY OF EXPLOSIVES**

*Definition of explosive and their general characteristics. Explosive materials and their applications. Characteristics of these categories. Initiation of explosives. Historical development of explosives. Requirements on military and the civilian explosives.*

A robbanóanyagok szerepe az emberiség történelmének, fejlődésének alakításában megkérdőjelezhetetlen. Ezek a hatások egyrészt pozitívak, amennyiben a közlekedés, az ipari fejlődés, összességében mindennapi életünk jobbá tételét szolgálták, szolgálják. Ugyanakkor történelmünk lapjait véres háborúk, rengeteg szenvedés, kioltott életek tíz és százmilliói szennyezik, és ebben szintén kiemelkedő szerep jut, ha úgy tetszik „felelősség” hárul a robbanóanyagokra. Ítéljük el tehát a robbanóanyagot? Egy korábbi cikkemben, az aknák kapcsán fogalmaztam meg a következő gondolatot, melyet ebben a helyzetben is igaznak, iránymutatónak tartok: „soha nem a tárgyak a bűnösök, hanem az a kéz mely megfogja őket és az az ész, mely ezt a kezet vezérelte...”<sup>3</sup>

Napjaink új kihívása, a robbanóanyagok terrorista bombamerényletekre történő alkalmazása. Olyan háború ez, melyet számunkra ismeretlen ellenség, ártatlan emberek ellen folytat vélt vagy valós, vallási vagy politikai sérelmei orvoslására, céljai elérésére, kikényszerítésére. A repülés az egyik kiemelten fenyegetett célpont, legyen az maga az eszköz (lásd pl. a PanAm légitársaság 103-as, London-New York járatának felrobbantását 1988. december 21-én, a skóciai Lockerbie felett), vagy a kiszolgáló létesítmény, az utasok sokaságával (2011. január 26. - egy öngyilkos merénylő, mintegy 7 kg robbanóanyagot robbantott fel a moszkvai Domogyedovó repülőtér, nemzetközi utas-fogadó termináljában). Egy évvel ezelőtti tanulmányunkban<sup>4</sup> elemeztük a polgári repülést fenyegető merényleteket. Ebben a cikkben ismerkedjünk meg magával a fenyegetést jelentő robbanóanyaggal, jellemzőivel, történeti fejlődésével.

<sup>1</sup> ny. mk. alezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán okl. mk. őrnagy, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Dr. Lukács László: Aknahelyzet Horvátországban és Bosznia-Hercegovinában, Új Honvédségi Szemle 1999/1., 37-49. o.

<sup>4</sup> Dr. Lukács László: A polgári repülés robbantásos fenyegetettsége - előadás a „Repüléstudományi Konferencia 2011” konferencián – megjelent a Repüléstudományi Közlemények (HU ISSN 1789-770X) Konferencia Különszám 2011. <http://www.szrfk.hu/rtk/index.html>

## ROBBANÓANYAGOKKAL KAPCSOLATOS ALAPISMERETEK

### A robbanóanyag fogalma, az egyes korok katonai szabályzatai tükrében

Az első katonai szabályzatokban<sup>5</sup> nem találkozunk a robbanás, a robbanóanyagok definiálásával. **Arday Géza** m. kir. honvédszázados 1910-ben megjelent könyvében arról ír, hogy „a magyar szakirodalomban a robbanóanyagok technológiája – sajnos – úgyszólván teljesen ismeretlen”<sup>6</sup>. Ennek okát abban látja, hogy „Magyarország-Ausztriában...a lőpor és a robbanóanyagoknak a gyártása nem képez szabad iparágat, hanem azt az állam katonai felügyelet alatt monopolizálja, amiért is ezen ismeretterjesztésnek gyakorlati része a gyártelep khinai falain túl nem terjedhet”<sup>7</sup>.

Arday ezek után részletesen bemutatja művében a robbanás jellemzőit. Szerinte „robbanó anyag elnevezése alatt bármely halmazállapotú test érthető, amely bizonyos körülmények között u. m.: mechanikai hatás, hőmérsékleti különbség vagy a testeknek egymásra gyakorolt kémiai hatása alatt stb. nagy mennyiségű gázt hirtelen képes fejleszteni és ezáltal nagy munkát végrehajtani”<sup>8</sup>.

A robbanóanyagokat a „robbanó hatás szerint” három csoportra bontja, úgymint „1. az impulzív robbanó anyagok, 2. a brizáns (lobbanó) robbanó anyagok, és a 3. fulmináns robbanó anyagok”.

Az **1903-ban** civil szakkönyvként megjelent, Schaffer Antal féle **Kézikönyv**<sup>9</sup> szerint: „Robbantó anyagnak<sup>10</sup> neveznek ... minden oly anyagot, mely meggyújtás, felhevítés vagy bármilyen hatás következtében igen rövid, de rendszeren alig mérhető időn belül nagy mennyiségű gázokat fejleszt, melyek ezen vegyefolyamatnál felszabaduló meleg következtében hirtelenül nagy mértékben kitágulva, *feszültségek* folytán munkát fejtenek ki ... Minél rövidebb az időtartam, melyen belül bizonyos tömeg felrobban, minél nagyobb a robbanásnál fejlődő gázok mennyisége és mentől jelentékenyebb azok hevítése, annál hatásosabb a robbanó anyag, azaz: annál nagyobb erőt fejtenek ki a nagy feszültségű gázok”<sup>11</sup> A Kézikönyv a robbanóanyagokat két csoportra osztja, úgymint igen erős hatásfokúak<sup>12</sup> (igen brizánsak) és kevésbé erős hatásfokúak (kevesbé brizánsak).

Az **1926-ban** kiadott **E-32. Műszaki oktatás a nem műszaki csapatok számára**<sup>13</sup> az alábbi robbanóanyag meghatározást adja: „Oly szilárd vagy cseppfolyós anyagokat, melyek kívülről jövő behatás (hő vagy mechanikai hatás) következtében igen gyorsan nagy tömegű és magas

<sup>5</sup> Vezérfonal az utászszolgálat oktatásához – 1899., E-23 Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utászszakaszai és század-utászai számára – 1902.

<sup>6</sup> Arday Géza m. kir. honvédszázados: A lőpor és robbanó anyagok technológiája és történeti fejlődése, Szent Erzsébet Nyomda Részvénytársaság, Kassa, 1910. 1. o.

<sup>7</sup> Uo. 2. o.

<sup>8</sup> Uo. 3. o.

<sup>9</sup> Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903.

<sup>10</sup> A mai ipari robbantástechnikai terminológia szerint robbantóanyag fogalma alatt, a robbanóanyagokat és a robbantószerkezetet összefoglalóan értjük. Ezen belül robbantószer a töltet közvetlen iniciálására szolgáló anyag, vagy szerkezet (a katonai robbantástechnika ez utóbbit gyújtószernek nevezi).

<sup>11</sup> Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903., 17. o.

<sup>12</sup> „A robbanékony anyagok hatásfoka, a tömegegységnek valamely meghatározott időegységben kifejtett munkája.” uo. 18.o.

<sup>13</sup> E-32 (Műsz. okt.): Műszaki oktatás a nem műszaki csapatok számára + Ábrafüzet, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1926. – bevezetve a 17530/eln. rendelet, 1926. 12. 01. Honvédségi Közlöny 29. szám. 232. o. (5000/eln 1924 körrendelet folyamánként)

hőmérsékletnél nagy feszültségű gázzá alakulnak át, robbantó anyagoknak, és ha már külön robbantási célokra csomagolva is vannak, robbantószereknek hívjuk”<sup>14</sup>.

A „robbantószereket” a robbanás gyorsasága szerint osztotta fel lassan robbanókra (fekete és fűsnélküli lőpor) és hirtelen robbanókra vagy másképpen brizánsakra.

Az **E-34. Műszaki oktatás (1928)**<sup>15</sup> már összetettebben fogalmaz, mint a nem műszakiak számára íródott társa: „A robbanás olyan vegyi folyamat, melynél nagy hőfejlődés mellett, igen rövid idő alatt, nagymennyiségű gáz képződik. Azokat az anyagokat melyeknél ez a vegyi folyamat létrehozható, robbantó anyagoknak nevezzük”<sup>16</sup>.

A „robbantó anyagokat” hatásuk és felhasználásuk szerint szintén két csoportra osztja, úgy mint lassú (ballisztikus) és heves (brizáns<sup>17</sup>) hatásúakra. Az egyes kategóriákon belül a fent ismertetett robbanóanyagok kerültek bemutatásra.

Az **1950-ben kiadott Robbantási segédlet** (a továbbiakban **Segédlet**)<sup>18</sup> a következőket írja: „Robbanóanyagoknak nevezzük azokat az anyagokat, vagy elegyeket, amelyek bizonyos külső hatásra egy pillanat alatt felbomlanak és belőlük nagymennyiségű erősen felhevített gáz képződik. ... A robbanás romboló hatása annál nagyobb, minél gyorsabban zajlik le, továbbá minél több és minél magasabb hőfokú gáz keletkezik.”<sup>19</sup>

A robbanóanyagokat a rombolandó közegre kifejtett hatásuk szempontjából iniciáló (indító), brizáns (heves) és ballisztikus (toló hatású) kategóriákba sorolta.

Az ugyancsak **1950-es, E.-mű. 1. Ideiglenes robbantási utasítás**<sup>20</sup>, a Segédletnél pontosabb robbanóanyag meghatározást ad: „Robbanóanyagoknak nevezzük azokat a vegyi anyagokat, vagy anyagok keverékét, amelyek külső behatásra igen gyors kémiai változáson mennek át, miközben magas hőfok és nagymennyiségű, erősen felhevített gáz fejlődik, ami munka végzésére képes”<sup>21</sup>.

A **Robbantások** c. (eredetileg titkos) minisztériumi kiadvány (**1953**)<sup>22</sup> megint más formáját adja a robbanóanyag meghatározásnak: „Robbanóanyagoknak olyan vegyületeket vagy keverékeket nevezünk, amelyek nagy kémiai energiakészletet rejtnek magukban és nagy hőkiválás, illetve nagymennyiségű gázképződés kíséretében rendkívül gyorsan fel tudnak bomlani.”<sup>23</sup>

<sup>14</sup> uo. 131. o.

<sup>15</sup> E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I-II. rész + Mellékletek, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928-1929. – bevezetve a 5281. eln. rendelet, 1928. 04. 30. Honvédségi Közlöny 10. szám, 73. o.

<sup>16</sup> uo. 31. o.

<sup>17</sup> „A robbanásnál keletkező nyomás bizonyos (rövid) idő alatt éri el legnagyobb értékét. A legnagyobb érték elérésének gyorsaságát a robbanóanyag hevésségének (brizánságának) nevezzük.” uo. 31. old. 3. pont

<sup>18</sup> Robbantási segédlet, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1950. – bevezetve 577/Elnökség-1950. rendelet, 1950. 05. 19., Honvédségi Közlöny 14. szám, 289.o

<sup>19</sup> uo. 4. o.

<sup>20</sup> E-mű. 1. Ideiglenes robbantási utasítás, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1950. – bevezetve 2.278/Elnökség-1950. rendelet, 1950. 12. 13., Honvédségi Közlöny 1. szám, 1. o.

<sup>21</sup> uo. 5. oldal, 5. pont

<sup>22</sup> Robbantások, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1953.

<sup>23</sup> uo. 8. o.

Az **1965-ös Mű-2. Robbantási utasításban**<sup>24</sup> jelent meg az a robbanóanyag meghatározás, melyet aztán **1971-es társa, a Mű/213. Utasítás**<sup>25</sup> is átvett: „Robbanóanyagoknak azokat a vegyületeket vagy keverékeket nevezzük, melyek meghatározott külső behatásokra gyors kémiai átalakulásra képesek, miközben nagymennyiségű és nagy nyomású gázok képződnek, mely gázok kiterjedésük közben mechanikai munkát fejtenek ki.”<sup>26</sup>

Mint látható, a katonai robbantástechnikában megjelenő robbanóanyag fogalom koronként változott, bár sok azonosság található az egyes meghatározásokban.

Az **ipari robbantástechnikában elfogadott** megfogalmazás szerint a „robbanóanyag: szilárd vagy folyékony halmazállapotú anyag vagy ezek keveréke, amely kémiai reakció révén képes arra, hogy olyan sebességgel fejlesszen gázt, ami elegendő hőmérsékletű és akkora nyomáshullámot hoz létre, hogy a környezetben károsodást idéz elő”<sup>27</sup>.

**Egy általam pontosított robbanóanyag fogalomban**, a kémiai robbanás során végbemenő folyamatban meghatározó jelentőségű feltételek összegződnek:

Robbanóanyagnak az olyan GYAKORLATILAG HASZNOSÍTHATÓ vegyületeket (elegyeket, olvadékokat) nevezzük, amelyek a megfelelő KEZDŐGYÚJTÁS (aktiválási energia) hatására bekövetkező ÖNFENNTARTÓ (exoterm) KÉMIAI ÁTALAKULÁS (reakció) során, HIRTELEN (százezred másodperc alatt), MAGAS HŐMÉRSEKLETŰ és IGEN NAGY NYOMÁSÚ, főleg GÁZTERMÉKEKKÉ alakulnak át, melyek kiterjedésük közben rendkívül nagyteljesítményű MUNKÁT végeznek, és KÖRNYEZETI HATÁST váltanak ki.

### **A robbanóanyag, mint „energiahordozó”**

A kémiai reakció rendszerint égési (oxidációs) folyamat. Az oxidációhoz pedig, éghető anyag (szén és hidrogén), valamint kellő mennyiségű (!) oxigén kell. A nagy reakciósebesség miatt az égés kívülről nem táplálható, ezért a robbanóanyagok az égés összes elemét (az oxigént is) önmagukban tartalmazzák (az oxigén rendszerint a nitrogénhez kapcsolódik, amely „foglalatot” képez számára). Ez a tulajdonságuk különbözteti meg a robbanóanyagokat a tüzelő- és motorhajtó anyagok – egyébként jelentősen nagyobb kalóriájú – csoportjától.

A kondenzált fázisú kémiai robbanás hatalmas romboló hatásának valóságos oka az, hogy az energia a robbanáskor rendkívül gyorsan szabadul fel. Míg 1 kg benzin az autó motorjában 5-6 perc alatt ég el, addig 1 kg robbanóanyag robbanása 1-2 százezred másodperc alatt játszódik le. Az energia a robbanáskor több tízmilliószor gyorsabban szabadul fel, mint égéskor. Ez a reakció kívülről nem táplálható oxigénnel, ezért kell a kondenzált fázisú robbanóanyagoknak önmagukban hordozniuk az átalakulásukhoz szükséges oxigént.

Ez egyben cáfolata annak a gyakori véleménynek is, mely szerint a robbanás romboló hatásának fő oka a robbanóanyagokban rejlő hatalmas energiatartalék. Ezt rögtön be is bizonyíthat-

<sup>24</sup> Mű/2. Robbantási utasítás, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1965. – bevezetve az MNVK 7. Önálló Osztály közleményével, 1965. 10. 30., Honvédségi Közlöny 5. szám, 48-49. o.

<sup>25</sup> Mű/213. Robbantási utasítás, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1971. – bevezetve az MNVK 7. Önálló Osztály közleménye (HK.2.), 1972. 03. 20., 21-22. o.

<sup>26</sup> uo. 7. oldal, 14. pont

<sup>27</sup> 13/2010. (III.4.) KHEM rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról. I. fejezet, Értelmező rendelkezések, 2. §. 28. pont

jük, ha összehasonlítjuk 1 kg fűtőanyag égéshőjét, 1 kg robbanóanyag robbanáshőjével:

Fűtőanyagok égéshője		Robbanóanyagok robbanáshője	
fa	18.9 MJ	fekete lőpor	2.9 MJ
benzin	42.0 MJ	nitroglicerin	6.3 MJ
antracit	33.5 MJ	trotil	4.2 MJ

1. táblázat 1 kg fűtőanyag égéshője és 1 kg robbanóanyag robbanáshője<sup>28</sup>

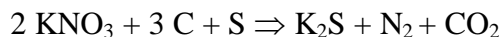
Vagyis 1 kg nitroglicerin robbanásakor, a szén elégésekor keletkező energia ötöde, míg 1 kg trotil robbanásakor csak a nyolcada szabadul fel.

Az összehasonlítás akkor sem javul sokat, ha a fűtőanyagoknál az égéshőt az égéshez szükséges oxigénnel vett keverék 1 kg-jára állapítjuk meg (tekintve, hogy a robbanóanyagoknál is a reakcióhoz szükséges oxigénnel együtt vett értéket vettük figyelembe):

Fűtőanyagok égéshője az égéshez szükséges oxigénnel vett keverék 1 kg-jára <sup>29</sup>	
fa	8.0 MJ
antracit	9.2 MJ
benzin	9.6 MJ

2. táblázat

A robbanás jelenségét még egy példával érzékeltetve, vizsgáljuk meg a fekete lőpor robbanása során végbemenő folyamatot:



A robbanás során (tulajdonképpen csak explózió, mivel a lőpor átalakulási sebessége „csak 500 m/s”, a robbanóanyagok pedig minimum 1000 m/s-os sebességgel detonálnak) kb. 2000 °C hőmérséklet keletkezik. A kísérleti 270 g lőpor, melynek eredeti térfogata 0.18 liter, a másodperc 4150-ed része alatt végbemenő átalakulás során 746 liter térfogatra tágul...

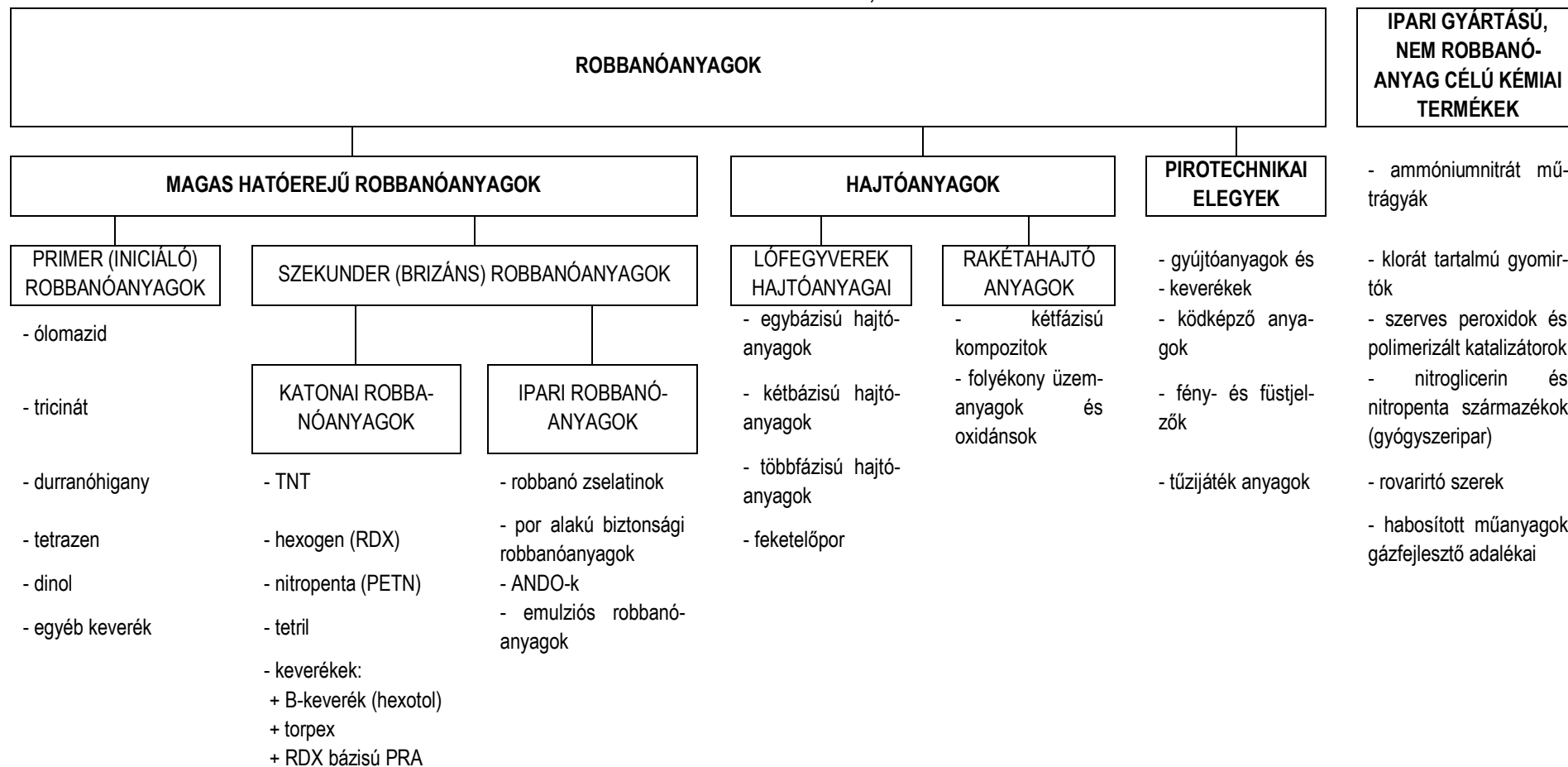
## A robbanóanyagok csoportosítása

A különböző tulajdonságú **robbanóanyagok csoportosítása** többféleképpen történhet, az éppen szükséges prioritások figyelembevételével (pl. felhasználási terület, gyakorlati alkalmazás, vegyi összetétel, érzékenység stb. alapján).

A számunkra leginkább fontos, **felhasználási terület szerinti felosztást** az 1. számú ábra szemlélteti. **Az ipari és a katonai robbanóanyagokkal szemben eltérő követelményeket támasztanak**, ezeket a 2. számú ábrán mutatom be

<sup>28</sup> Andrejev K. K.- Beljajev A. F.: A robbanó anyagok elmélete, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1965. 20. o., 01. táblázat alapján

<sup>29</sup> uo. 21. o., 02. táblázat lapján



J. Köhler – R. Meyer: Explosives – Fourth, revised and extended edition (VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 1993.) 11. táblázat, 141. oldal alapján



**AZ IPARI ÉS A KATONAI ROBBANÓANYAGOKKAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK**

**2. ábra**

Követelmény megnevezése	Ipari robbanóanyag	Katonai robbanóanyag
teljesítmény	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nagy gázfejlődés és magas robbanáshő = nagy robbanóerő (munkavégző képesség);</li> <li>- a magas detonációsebesség nem követelmény (kivével a szeizmikus kutatásokhoz gyártott speciális robbanó zselatinokat).</li> </ul>	<p>függ az alkalmazástól: aknák, bombák, tüzérségi lőszer, rakéták</p> <p>a./ harci fejek töltetei:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- magas gáznyomás;</li> <li>- nagy gázfejlődés;</li> <li>- magas robbanáshő (magas detonációsebesség nem követelmény).</li> </ul> <p>b./ gránátok töltetei:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nagy repeszképző hatás;</li> <li>- nagy töltési sűrűség;</li> <li>- nagy detonációsebesség;</li> <li>- közepes munkavégző képesség elegendő.</li> </ul> <p>c./ kumulatív töltetek:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- extrém magas sűrűség és detonációsebesség (HMX- a legjobb);</li> <li>- magas hatóerő (brizancia) és munkavégző képesség.</li> </ul>
érzékenység	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kezelésbiztonság;</li> <li>- gyutacsérzékenység (kivéve a slurry-ke és az ammóniumnitrát- tüzelőanyag keveréket).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amennyire csak lehetséges, érzéketlen;</li> <li>- tűzbiztos;</li> <li>- ütésbiztos;</li> <li>- lövésbiztos</li> </ul>
stabilitás és tárolhatóság	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kb. hat hónap tárolási idő, vagy több;</li> <li>- semleges (nincs az alkotók között nitric-azid)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 év vagy több a tárolási idő;</li> <li>- semleges;</li> <li>- fémekkel nem reagál;</li> <li>- alakítható.</li> </ul>
vízállóság	<ul style="list-style-type: none"> <li>- töltényezve 2 órát el kell viselnie állóvízben (szeizmikus robbanóanyagoknak többet).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tökéletes vízállóság, legalább a fegyverbe való betöltésig.</li> </ul>
adagolhatóság	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zselatinált, vagy por.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- öntött vagy préselt.</li> </ul>
Hő-tűrő képesség	<ul style="list-style-type: none"> <li>- -25 °C -ig (-13 °F) nem fagyhat meg;</li> <li>- +60 °C -ig (140 °F) néhány órát ki kell bírnia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- teljes működésképeség meg kell őriznie -40 °C (-40 °F) és + 60 °C (+140 °F) között, sőt különleges esetekben e fölött is.</li> </ul>

J. Köhler – R. Meyer: Explosives – Fourth, revised and extended edition (VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 1993.) 12. táblázat, 142. old. alapján

**A katonai robbantástechnikában** is a **gyakorlati alkalmazás szerinti felosztást** tekintjük a legfontosabbnak, mely szerint megkülönböztetünk iniciálót (primer), brizáns (szekunder) és ballisztikus (toló hatású) robbanóanyagokat. A brizáns robbanóanyagok tovább bonthatók magas, közepes és alacsony hatóerejűekre.

*Az iniciálót (primer) robbanóanyagok* olyan érzékeny robbanóanyagok, amelyekben nem csak a lökeshullám, hanem egyéb energiaforrás (szúróláng, súrlódás, gyenge ütés, felmelegedés stb.) is kiválthatja a detonációt. Robbanásukkor viszonylag kevés nagytérfogatú gáz keletkezik, ezért önmagukban robbantási tevékenységre nem használják őket. Elsősorban a brizáns robbanóanyagok detonációjának előidézésében van fontos szerepük.

*A brizáns (szekunder) robbanóanyagok* robbanása normál körülmények között, csak megfelelő erősségű lökeshullámmal (aktiválási energiával) – pl. gyutacs vagy másik robbanóanyag töltet robbanásának hatására – idézhető elő. Viszonylag nagy detonációsebességük és a robbanásuk során keletkező jelentős mennyiségű (térfogatú) gázképződés miatt, az ipari és a katonai gyakorlatban kiemelt jelentőséggel bírnak.

*A ballisztikus robbanóanyagok* (lőporok) olyan toló hatású robbanóanyagok, amelyeknek stabil és gyors az égése, de ez az égés általában nem megy át detonációba (az anyag csak explodál). Elsősorban lőfegyverek, lőpor-hajtóművek céljára, valamint speciális bányászati tevékenységre (pl. márványbánya) használatosak.

A primer és a szekunder robbanóanyagok, egymástól eltérő tulajdonságait a 3. táblázatban mutatjuk meg.

ROBBANÓANYAG/ JELLEMZŐ	Iniciálót			Brizáns	
	Durranó-higany	Ólomazid	TNRSZ (tricinát)	TNT	Tetrit
Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	4,42	4,8	3,0	1,47-1,64	1,73
Detonációsebesség [m/s]	5400	5300	5200	6700	7570
Robbanáshő <sup>30</sup> [kJ/kg]	1486	2866	1549	5066	5527
Gáztérfogat <sup>31</sup> [l/kg]	-	308	470	620	672
Ütésérzékenység <sup>32</sup> [J]	1,0	1,2	2,5-5,0	15,0	3,0
Trauzl-próba <sup>33</sup> [cm <sup>3</sup> ]	130	110	130	300	410

3. táblázat Iniciálót és brizáns robbanóanyagok jellemzőinek összehasonlítása

## A robbanóanyagok iniciálása

A ma alkalmazott ipari és katonai (szekunder) robbanóanyagok stabil képződmények, melyek detonációjának előidézéséhez meghatározott nagyságú kezdő, azaz iniciálót impulzus szükséges-

<sup>30</sup> 1 kg robbanóanyag tökéletes robbanási átalakulása során állandó térfogat mellett felszabaduló elméletileg meghatározott hőmennyiség

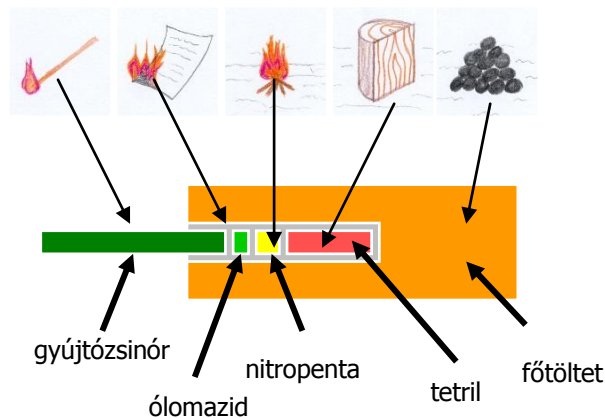
<sup>31</sup> 1 kg robbanóanyag gáztermékeinek a térfogata 1 bar nyomáson és 0°C hőmérsékleten

<sup>32</sup> A robbanóanyag mechanikai hatásokkal szembeni érzékenysége (a robbanóanyagra ejtett tömeg és azon ejtési magasság megadásával jellemzik, mely még nem idézi elő a robbanást).

<sup>33</sup> A robbanóanyag munkavégző képességének vizsgálati módszere. Előírt méretű ólomhengerben lévő furatba helyezett, fojtott töltet robbanása után, a robbantás előtti és utáni furat-térfogat különbségét (öblösödés) adják meg cm<sup>3</sup>-ben.

ges. A primer robbanóanyagokat nem tekintve, a fekete lópor az egyedüli olyan robbanóanyag, mely valóban láng hatására közvetlenül felrobbantható.

A brizáns (szekunder) robbanóanyagok detonációja (pont a megfelelő kezelésbiztonság miatt) hőimpulzussal nem hozható létre. Mechanikai behatásokkal (ütés, dörzsölés) szembeni érzékenyséjük szintén nem jellemző. Detonációjának kiváltásához (az önfenntartó kémiai átalakulás elindításához) kellő erősségű lökéshullámra van szükség. Vagyis, ahogy a kályhában a szén sem gyújtható meg egy szál gyufával, úgy a mai kor biztonsági követelményeinek megfelelő robbanóanyagok sem robbanthatók fel az említett „szúrólánggal”. Ehhez, egy úgynevezett **gyújtási láncot** kell létrehozni, melyben egy kis, rendszerint hőenergiával elindított impulzus kerül több közvetítő anyag által addig fokozásra, míg a szekunder robbanóanyag (mint főtöltet) stabil detonációját nem lesz képes kiváltani. Ezt a folyamatot nevezzük másként, a töltetek iniciálásának.



3. ábra Gyújtási lánc egy változata

## A ROBBANÓANYAGOK KIALAKULÁSÁNAK RÖVID TÖRTÉNETE

A következőkben röviden áttekintjük a robbanóanyagok kialakulását. Tesszük ezt azért, mert mint látni fogjuk, a jelenleg is alkalmazott robbanóanyagok döntő többségét már elég régóta ismeri az ember, és a későbbiekben azt tapasztaljuk, hogy a mai napig, döntően e robbanóanyagokat használjuk akár önállóan, akár egy „új” robbanóanyag alkotórészeként, a katonai és az ipari gyakorlatban egyaránt<sup>34</sup>. A tárgyalt robbanóanyagok jellemzőit nem a szövegben, hanem a tanulmány végén lévő táblázatban, összefoglalva mutatjuk be.

### A lópor története

A salétromból, kénből és faszénből előállított **fekete lóport**, **i.sz. 700 körül** Kínában fedezték fel, de a „barbár” Keleten, ennek ellenére évszázadokig csak tűzijáték céljára használták ezt a stratégiai fontosságú találmányt. **1000 körül került először katonai alkalmazásra a Távol-Keleten, 1200 körül** pedig már az **arabok** is harcoltak vele. **Európában a XIV. század elején** kezdték először **lőfegyverekben** használni. A különböző szakirodalmi utalások szerint, a

<sup>34</sup> Természetesen, speciális feladatokhoz új robbanóanyagokat is fejlesztenek, de ezek – főleg magas árak miatt – nem kerülnek széleskörű felhasználásra. Bővebben lásd, dr. Kovács Zoltán: Robbanóanyagok a katonai gyakorlatban - előadás a Magyar Robbantástechnikai Egyesület, „Fúrás-robbantástechnika 2008” Nemzetközi Konferenciáján, Vác, 2008. szeptember 16-18. (megjelent a konferencia kiadványában, 43-47. o.)

kétes dicsőségen többen is osztoznának.

Állítólag **1249-ben, Roger Bacon** (1214-1292) angol szerzetes „találta fel” Európa számára a lőport, és felismerve annak stratégiai jelentőségét, erről egy titkos levélben tájékoztatta a pápát is (7 rész salétrom, 4-4 rész faszén és kén keveréke). Ugyanakkor téves az az elterjedt vélemény, hogy **Schwartz Berthold** német ferences-rendi szerzetes lenne az európai lőpor atyja, hiszen ő a XIV. század második felében élt (1310-1384). Neve inkább a lőpor lőfegyverekben való elterjesztésével hozható összefüggésbe. **1275 körül Graecus Marcus, 1300-ban pedig Magnus Albertus**, Bacon-nal szemben a salétrom, faszén és kén keverését már 6:2:1 arányban javasolja. **1326-ban, Angliában** alkalmazták először kontinensünkön **ágyúba a puskaport**, 1346-ból írásos feljegyzések maradtak a Cressy-i csatában való szintén ágyús használatról. Németországban és Franciaországban csak 1380 után kezdték a „lövőfegyvereket” használni, minthogy a „lovagias érzék és vallásos buzgóság” ebben az időben nem tudott velük megbarátkozni.

A korábbi **földalatti aknaharc, lőporral kombinált alkalmazására először 1403-ban** került sor, mikor a Pisa és Firenze közötti háborúban, **Pisa várának** falait, az alájuk ásott alagútban elhelyezett lőpor töltettel röptették a levegőbe. A tervezésnél közreműködött az ostromló Ludovico Sforza herceg katonai-műszaki szakértője is, **Leonardo da Vinci**. 1441-ben Belgrád várát szintén a falak lőporral történő felrobbantása után tudták elfoglalni, és 1597-ben Pálffy Miklós és Prestyánszky Tata várát, 1598-ban pedig Pálffy és Schwarzenberg Győr várát úgy vették be, hogy a kapukat petárdákkal szétrombolták, és a meglepett őrséget leverték<sup>35</sup>.

Még egy utolsó adalék európai „kultúrtörténelmünkhöz”: **1605. november 5-én, Londonban** pokolgépes merénylet előkészületét leplezték le: a katolikus lázadók **Guy Fawkes** vezetésével, 1632 kg fekete lőport akartak becsempészni a Parlament pincéjébe, így akarván felrobbantani a protestáns I. Jakab királyt. A terv, árulás miatt meghiúsult, a bűnösöket a kor törvényei szerint elítélték és kivégezték.

A fekete lőpor első ipari felhasználására viszont csak **1627-ben** került sor **Selmecebányán** (Szelakna, Felső Bíber táró), **Weindl Gáspár** tiroli bányamester híres robbantásánál. Az ötlet egyébként a bánya egyik résztulajdonosától, Montecuccoli bárótól származott, aki a nagy hadvezér rokonaként, a fenti várfalak aláaknázásának tapasztalatait javasolta átültetni a bányászati gyakorlatba. A sikeren felbuzdulva, a módszer gyorsan terjedt Európában. 1679-ben, a franciaországi Canal Du Midi, Malpas alagútját robbantással alakították ki, Angliában pedig ón- és rézbányában kezdett 1689-ben lőporral robbantani id. Thomas Esply.

A fekete lőpor gyártását természetesen folyamatosan fejlesztették az idők során. **1777-1778** között **Lavoisier** folytatott kísérleteket, majd megjelent a **Berthollet keverék**, mely 16 rész salétromot, 1 rész kén és 3 rész faszén tartalmazott. Az **1882-es Rottweil puskaporban** 77 rész salétrom és 3 rész kén mellett, 20 rész rozsszalma-szén volt.

### **Az iniciáló robbanóanyagok fejlődése**

A **durranóhigany** felfedezését **1630 körüli** időpontban határolják be, és a holland **van Drobbelnek** tulajdonítják. Érdekesség, hogy csak a brit **Edward Howard, 1799-es** „újra fel-

<sup>35</sup> Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903. 3. o.

találása” (mely egy tévedésen alapuló véletlen műve volt) után került tényleges hasznosításra. **Primer robbanóanyagként** való hasznosítását a skót **Alexander J Forsyth** szabadalmaztatta **1807-ben**.<sup>36</sup>

Hasonló sors jutott a **trizinátnak (TNRSZ)** is: az alapjául szolgáló **sztifninsavat** először **1808-ban** állította elő **Chevreuil**, de csak a **trinitro-rezorcin 1871-es előállítás**a (és a sztifninsavval való azonosságának bizonyítása) után kerülhetett sor ezek ólom-sójaként, a ma is nagy mennyiségben gyártott robbanóanyag létrehozására.

Az **ólomazidot Curtius** állította elő először, szintén **1891-ben**. **Gyutacsban** való használatát, **1906-ban A. A. Solonina** orosz ezredes javasolta, a durranóhigany helyett. A **tényleges ipari gyártás 1908-ban** kezdődik.

### A brizáns robbanóanyagok fejlődése

A XIX. században, az ipar más területeihez hasonlóan, a robbanóanyagok feltalálása terén is hatalmas ugrást figyelhetünk meg. A német Christian Friedrich **Schönbein 1846-ban** felfedezi a **nitrocellulózt** (kezdetben gyógyászati segédeszközként, sebek fertőtlenítésre használták), Ascanio **Sobrero**, olasz fizikus és gyógyszerész pedig a **nitroglicerint**. Utóbbi szívgyógyszer kutatása során jutott a felfedezésre, egy robbanástól maga is megsebesült az arcán. Ezt követően mindenkit óvott találmánya alkalmazásától, az „ördög művének” nevezve azt.

**1853-ban** egy orosz katonatiszt, **V. F. Petrushevski** a nitroglicerint magnéziummal abszorbeálta, és az így nyert robbanóanyagot, mint a dinamit előfutárát, a szibériai aranybányákban alkalmazták.

Alfred **Nobel** – többek között a nitroglicerint gyáraiban bekövetkezett robbanások miatt, melyeknek testvére is áldozatul esett – kísérletezni kezdett e veszélyes anyag kezelés biztossá tételén. A véletlen is a kezére játszott, mivel a nitroglicerint üveg ballonokban szállították, melyeket faládba csomagoltak, és a rázkódást elkerülendő, a ládákat egy jó nedvszívó tulajdonságú semleges anyaggal, kovafölddel (szilícium dioxid) töltötték ki. Egy alkalommal, az egyik ballon dugójánál szivárgás történt, és a kiszabaduló nitroglicerint, a kovaföld elnyelte, olyan rugalmas, gyurmaszerű anyagot képezve vele, mely megőrizte a nitroglicerint robbanó erejét, ugyanakkor jelentősen csökkentette, annak mechanikai hatásokkal szembeni érzékenységét. **Nobel 1867-ben szabadalmaztatta**<sup>37</sup> a **világ első kezelés biztos robbanóanyagát**, a kovafölddel felitatott nitroglicerint. Az így nyert ún. **gurdinamit**<sup>38</sup>, a dinamitféleségek egész sora követte.

A nitroglicerint ipari méretű alkalmazása még egy problémát vetett fel: ez a biztonságos iniciálás volt. A robbantástechnika ugyancsak fontos mérföldköve volt, mikor többéves kísérletezés eredményeként, **1846-ban Alfred Nobel bevezette az első fémhüvelyes, durranóhigany töltetű gyutacsot** (felváltva a korábbi fekete lőpor töltetű detonátorokat), a nitroglicerint töltetek iniciálására. Mivel az akkor már ismert fekete lőporos (Bickford-féle) gyújtózsín helyett továbbra sem talált más eszközt, mellyel a pontosan időzíthető robbantást el lehetett vol-

<sup>36</sup> Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903., 2-4. o.

<sup>37</sup> Egyes irodalmakban a feltalálás dátumaként 1866 szerepel.

<sup>38</sup> A kovaföld Kieselgur nevéből

na végezni, olyan robbanóanyagokkal kezdett kísérletezni, melyek lángérzékenysége biztosítja a gyújtószinór által történő robbantást, ugyanakkor a detonációja által előidézett energia elég nagy, a nitroglicerint töltet tökéletes robbantásához. Nobel a durranóhiganyban vélte felfedezni a megfelelő tulajdonságokat, melyet felül nyitott rézhüvelybe sajtolt, megalkotva ezáltal, az első gyutacsot<sup>39</sup>.

Mikor 1867-ben Alfred Nobel elkészítette az első kezelésbiztos, ugyanakkor mégis nagyhatóerejű robbanóanyagot, a gurdinamitot, új problémával szembesült: az új anyag annyira „biztonságos” volt, hogy a nitroglicerinnél addig alkalmazott és jól bevált gyutacsával nem lehetett iniciálni.

**Nobel** tehát újból munkához látott, és még abban az évben egy teljes **gyutacssorozat** készített **1-től 10-ig terjedő erősséggel**. Ezekben a gyutacsokban, eltérő tömegű durranóhigany töltetet alkalmazott: a legkisebb mennyiség 0.3 g, a legnagyobb 3.0 g volt. A sorozat 8. tagja, mely 2.0 g töltetet tartalmazott, már elégségesnek bizonyult a dinamit töltet iniciálásához is. A mai napig, az ennek megfelelő robbanó erejű gyutacsokat alkalmazzák a legelterjedtebben a világon<sup>40</sup>, az ún. gyutacsérzékeny robbanóanyagok indításához.

A **robbanó zselatint** szintén **Nobel** állította elő először **1875-ben**, nitroglicerint és nitrocellulóz alkalmazásával. Zsenialitásából mit sem von le az a tény, hogy ezt a felfedezést egy laboratóriumi baleset előzte meg, mikor is Nobel elvágta a kezét, és a sebet nitrocellulóz vattával kezelve, kocsonyás gél keletkezett a bőrén. Mivel a kísérlet során nitroglicerinnel dolgozott, ezt az eredményt csak e két anyag keveredése okozhatta.

A **füstnélküli lőpor** feltalálója, a francia **Paul Vieille, 1884-ben** állítja elő az első tiszta, katonai lőfegyverekben alkalmazható nitrocellulóz lőport (a francia hadsereg 1866-ban rendszeresíti), míg **Nobel 1888-ban** szabadalmaztatja az első kétbázisú nitroglicerines lőpor, a **ballistit** előállítását. Az angolok sem akartak lemaradni, és **dr. W Kellner** 1888-1889-ben előállította a második kétbázisú füstnélküli lőport, melyet **F. Abel** és **Sir James Dewar** szabadalmaztatott **cordit** néven<sup>41</sup>.

A **pikrinsavat Pierre Woulfe** francia vegyész állította elő először **1771-ben**, de sokáig csak selyem és gyapjú festésére használták (néha kissé zajos sikerrel). Mint robbanóanyagot, **1867-ben Borlinetto** ajánlotta, majd **1871-ben Herman Sprengel** német vegyész ismerteti a felhasználás konkrét lehetőségeit. Ezzel megteremtődnek a lehetőségek, hogy **1887-ben** a francia **Eugen Turpin** bemutassa a pikrinsav-collodium bázisú **melinitet** (a francia hadsereg rendszeresítette a Turpin-féle, pikrinsavas robbanóanyag töltetű tüzérségi lőszeret). Ezt követően sorban jelentek meg az egyes országokban a **pikrinsavas katonai robbanóanyagok** úgy, mint az angol **lyddite**, az orosz **silotwor**, az Osztrák Magyar Monarchiában az **ekrazit**, a japán **simoze** és a német **sprengkorper**. Ugyancsak Franciaországban kezdték gyártani **1917-ben** a **melinit-TNT** keverék robbanóanyagot.

<sup>39</sup> A rézre nem esztétikai megfontolások, hanem a durranóhigany azon „kellemetlen tulajdonsága” miatt volt szükség, hogy más fémekkel érintkezve (főleg ha még nedvességet is kap) cserebomlásba megy és elveszíti érzékenységét.

<sup>40</sup> Minden 8-as erősségű gyutacs robbanási energiájának, egyenértékűnek kell lennie 2 g durranóhigany robbanási energiájával.

<sup>41</sup> A brit hadsereg Cordite Mark I, másként CSP (cordite smokeless powder) néven rendszeresítette

A **trinitrotoluolt (trotil, TNT)**<sup>42</sup>, mint robbanóanyagot a német **C. Haussermann** vezette be **1891-ben** (első előállítás 1863-ban történt és a német kémikus, **J. Wilbrand** nevéhez fűződik, de ezt az anyagot is hosszú éveken keresztül csak a festőipar használta). A német hadiipar 1902-ben kezdte alkalmazni nagyhatóerejű aknagránátok töltésére, az 1905-ös orosz-japán háborúban használták először katonai célra, az USA 1912-ben kezdte meg katonai felhasználását. Az I. világháborúban már mindegyik hadviselő fél rendszeresített robbanóanyaga volt. Az egyre növekvő igényeket a gyártás nem tudta követni, ezért a lőszerekben ammónium nitráttal kevert változatát, az **amatolt** használták, melyet **1915-ben** fejlesztettek ki Angliában.

Ehhez természetesen **Favier-nek** fel kellett találnia az **ammónium-nitrátos robbanóanyagokat 1884-ben**. Magát az **ammónium nitrátot J. R. Glauber** német kémikus szintetizálta először, még **1654-ben**.

Az **alumínium porral érzékenyített robbanóanyag** alkalmazását, a német **R. Escales** javasolta **1899-ben**, **G. Roth** szabadalma nyomán. Az első ilyen robbanóanyag az **ammonal** volt, mely az ammóniumnitrát mellett faszenet és alumínium port tartalmazott. Ausztriában, **1917-ben** fejlesztette ki **R. Forg** az **ammonal T** robbanóanyagot (TNT, alumínium-por és ammónium nitrát keverék), melyet elsősorban víz alatti robbantásokhoz és torpedófejek tölteteként alkalmaztak<sup>43</sup>.

**Tollens 1891-ben** fedezte fel a **nitropentát (PETN)**<sup>44</sup>.

A **folyékony oxigén robbanóanyagot (LOX)**<sup>45</sup> a német **Karl. P. G. von Linde** vezette be **1895-ben**. Rendszeresítve volt az I. világháború alatt a német, valamint az Osztrák-Magyar Monarchia hadseregében, de az USA-ban a Közép-Nyugat külszíni bányáiban egészen az 1950-es évekig használták.<sup>46</sup>

A **tetrilt Michler és Meyer** már **1879-ben** ismerték Németországban, de csak az I. világháborúban nyert széleskörű alkalmazást (Németországban 1906-ban, Oroszországban 1910-ben kezdték meg folyamatos gyártását).

A német Hans **Henning 1899-ben**, gyógyszer kutatás során fedezi fel a **hexogént**, de **robbanóanyagként** csak **1920-ban szabadalmaztatja**, az ugyancsak német **E. von Herz**. Tömeges felhasználására csak a II. világháborúban került sor.

Az **RDX-ként** is ismert hexogént Angliában **Royal Demolition eXplosive**, az USA-ban és Kanadában **Research Department eXplosive**, Olaszországban **T4** néven ismerik, de **Cyclonit**-ként is forgalmazzák. Bár előállítási költsége igen magas (az egyébként sem olcsó TNT árának 2-4-szerese), ma mégis az egyik legfontosabb katonai robbanóanyag a világon.

Alapanyaga a préselt **Composition A, A-2, A-3, A-4** robbanóanyag családnak, a bombák,

<sup>42</sup> ismert még trinitrotoluene megnevezése is

<sup>43</sup> TM 9-1300-214 Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984., 2-10. o.

<sup>44</sup> Pentaeritritol-tetranitrát; ismert még Pertitrit, ten és corpent néven is

<sup>45</sup> Liquid Oxigene eXplosive

<sup>46</sup> TM 9-1300-214. Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984. 2-7. o.



aknák és lőszerkeztöltésére szolgáló, általában trotilal elegyített **Composition B**<sup>47</sup>, **B-2**, **B-3**, **B-4** sorozatnak, és (ugyancsak trotilal keverve) a plasztikus robbanóanyag családnak, a **Composition C**, **C-2**, **C-3** és **C-4**<sup>48</sup>-nek.

Ugyancsak RDX-TNT keverék a repeszbombák töltésére használt **Ciklotol**, a mélyvízi bombák robbanóanyaga a **DBX** (**Depth Bomb eXplosive**), Mélyvízi bombák, torpedók, rakéták harci részét töltik a **HBX-1** (**Hight Brissance eXplosive**), robbanóanyaggal (40% RDX, 38 % TNT). Gyújtószerkezetek, víz alatti robbantások harci töltete a **HBX-3**, másként **TORPEX** (31% RDX, 29 % TNT). Harckocsi aknában alkalmazzák és az egyik legjobb légi robbantásokhoz alkalmazandó robbanóanyagként ismert, a **HBX-6**, másként **H-6** (45 % RDX, 30 % TNT) keveréket. Nagy hatóerejű töltetekbe használják a **HTA-3**<sup>49</sup> robbanóanyagot (49 % RDX, 29 % TNT).

A főleg terrorista robbantások révén elhíresült, egyébként kiváló robbanási tulajdonságokkal rendelkező **SEMTEX plasztikus robbanóanyagot**, a cseh **Stanislav Brebera** fejlesztette ki Pardubicében, **1966-ban**. A cég kezdetben Sementin Glassworks, majd VCHZ Synthesia, jelenleg pedig Explosia néven állít elő különböző katonai és ipari robbanóanyagokat. A nitropenta és hexogén alap robbanóanyagokból álló SEMTEX-et nagy mennyiségben exportálták, így pl. 1975-1981 között OMNIPOL néven, kb. 700 tonnát Líbiába is. Az ipari **SEMTEX 1A** és **SEMTEX 10** robbanóanyagok 94 %-ban nitropentát és csak 5 % hexogént tartalmaznak, a katonai **SEMTEX 1H** esetén ez az arány közel 50-50%. Legújabb, alumínium porral érzékenyített katonai plasztikus robbanóanyaguk a **Semtex® Pl-Hx-30**, 30/50 % nitropenta/hexogén tartalommal.

Amerikában, **1941-ben** hexogén gyártás melléktermékeként állította elő **Bachmann**, a **HMX**<sup>50</sup> néven is ismert **oktogént**<sup>51</sup>, mely kémiai összetételében hasonló az RDX-hez, de robbanási tulajdonságaiban felülmúlja azt.

**1952-ben** fejlesztették ki Amerikában<sup>52</sup> a 70/30, illetve 75/25 százalékban HMX-et, illetve TNT-t tartalmazó **oktol**-t. **1952-ben** fejlesztette ki a Los Alamos Scientific Laboratories (USA) az első polimer kötésű robbanóanyagot (**PBX**<sup>53</sup>).

**Charles A. Wurtz 1859-ben** fedezte fel az **etilén oxidot** és az **etilén glykolt**. Egy évszázaddal később az etilén oxidot az USA alkalmazta a levegő-tüzelőanyag keverék (aerosol robbanóanyagok), másként **FAE-lőszerkezt** (Fuel-Air Explosives)<sup>54</sup> kifejlesztésénél.

Az USA-ban az 1920-as évektől folyt fejlesztő munka egy közel hexogén hatóerejű, de a fizikai hatásokkal szemben annál érzékeltlenebb katonai robbanóanyag kifejlesztésére. A siker

<sup>47</sup> A II. világháború alatt, 1943-tól az amerikai légierőnél a légibombák mintegy 40 %-át ezzel a robbanóanyaggal töltötték. - TM 9-1300-214., 2-14 – 2-16. o.

<sup>48</sup> A C-4 plasztikus robbanóanyagot K. G. Ottoson (Picatinny Arsenal) fejlesztette ki 1946-1949 között

<sup>49</sup> High Temperature Explosive - 1958-ban fejlesztik ki a Picatinny Arsenal-nál

<sup>50</sup> High Melting point eXplosive (magas olvadáspontú robbanóanyag), de ismert még Her Majesty's eXplosive néven is

<sup>51</sup> ciklotetrametilén-tetranitramin (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>N<sub>8</sub>O<sub>8</sub>)

<sup>52</sup> Northern Corporation

<sup>53</sup> Polimer Bonded eXplosive

<sup>54</sup> Használják a FAX (fuelair explosives) kifejezést is



**1935-ben** született meg, amikor **dr. George C. Hale** felfedezte az **EDNA**<sup>55</sup> (másként **haleite**) nevű robbanóanyagot. Egyben ez volt az első önálló amerikai fejlesztésű robbanóanyag.

**1937-ben**, Angliában fejlesztették ki a **baratolt**, bárium nitrát és TNT összetevőkkel. Tömeges felhasználására a II. világháborúban került sor.

**1945-ben** mutatták be Amerikában, az **L. H. Eriksen** és **J. W. Rowan** által kifejlesztett, első-sorban aknamentesítésre javasolt folyékony robbanóanyagot, a **PLX**<sup>56</sup>-et. Hasonló robbanóanyagot **Myrol** néven már használt aknamentesítésre a német hadsereg, a II. világháború alatt.

A **hőálló robbanóanyagok** kifejlesztésének úttörője az amerikai **Shipp** volt, aki **1966-ban** fedezte fel a **hexanitrostilben-t (HNS)**. **1978-ban** fejlesztette ki **Atkins** és **Norris** a **triamino-trinitrobenzen-t (TATB)**.

### Az alacsony hatóerejű ipari robbanóanyagok

Az ipari robbanóanyagok első, és talán máig legismertebb fajtájának, az **ammóniumnitrát-dízel olaj keverék robbanóanyagának** a felfedezése, az Amerikai Egyesült Államok (Texas-City)<sup>57</sup>, illetve Franciaország (Brest)<sup>58</sup> tengeri kikötőiben, **1947-ben** bekövetkezett hatalmas robbanásokhoz kapcsolódik. Mindkét helyen az európai újjáépítéshez szállítandó ammóniumnitrát műtrágya robbant fel, a tároló papírzsákok meggyulladására következett.

A vizsgálatok kiderítették, hogy az erősen higroszkopikus ammóniumnitráthoz, a tengeri szállítás során a nedvességtől való megóvása érdekében, mintegy 0,8-1,0 %, paraffinból és petróleumszármazékból álló adalékanyagot kevertek. Az összesen több mint 6000 t „műtrágya” illetően való felrobbanása igencsak felkeltette a robbanóanyag-ipari szakemberek figyelmét, és ennek eredményeként született meg az Európában **ANDO**<sup>59</sup>, Amerikában pedig **ANFO**<sup>60</sup> néven ismert – elsősorban ipari felhasználású – robbanóanyag, mely alapváltozatában 94 % ammóniumnitrátból és 6% gázolajból készül, akár a robbantás helyszínén történő összekeveréssel.<sup>61</sup>

Az ipari robbanóanyagok fejlődésének második szakasza, a **robbanózaggy 1958-as** felfedezésével kezdődött (**Melvin A. Cook** és **H. E. Farnham**)<sup>62</sup>. A robbanózaggyok elsősorban ammóniumnitrát és más nitrátok vizes oldatait, égő anyagokkal (alumíniumpor, glikol, stb.) és érzékenyítő anyagokkal (TNT, nitropenta, hexogén) keverve. Töltényezhetők és a helyszínen bekeverhetők, tartálykocsiból a fűrólyukba szivattyúzhatók. Hatóerejük 3-6-szorosa az ANDO/ANFO-énak. További nagy előnyük az ANDO-val szemben, hogy vizes fűrólyukakba is tölthetők, de csak + 4 °C-ig működnek megbízhatóan, az alatt megdermednek és bizonytalanul detonálnak.<sup>63</sup>

<sup>55</sup> Etilén-dinitramin

<sup>56</sup> Picatinny Liquid Explosive – 95 % nitrometán és 5 % etilén-dinitramin keveréke

<sup>57</sup> Az 1947. április 16-án és 17-én, az SS Grandchamp és az SS Highflyer fedélzetein bekövetkezett robbanások 567 ember életét követelték

<sup>58</sup> 1947 július 28-án, az SS Ocean Liberty robbant fel

<sup>59</sup> Ammóniumnitrát + „diesel oil”

<sup>60</sup> Ammóniumnitrát + „fuel oil” – a gázolaj elnevezése az USA-ban

<sup>61</sup> Baron V. L.- Kantor B. H.: Tyehnyika i tyehnologija vzrивnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája és technológiája az USA-ban), Nyedra, Moszkva, 1989., 49-50. o.

<sup>62</sup> TM 9-1300-214. Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984. 2-22. o.

<sup>63</sup> Baron V. L.- Kantor B. H.: Tyehnyika i tyehnologija vzrивnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája

Az ipari robbanóanyagok fejlődésének harmadik szakaszát, az emulziós robbanóanyagok megjelenése jelentette. Az USA-ban, **1964-ben** mutatták be az első **emulziós robbanóanyagot**, de az igazi fellendülést az 1980-as évek elején lehetett megfigyelni. Ezt bizonyítja az a tény, hogy az emulziós robbanóanyagokkal kapcsolatban 1969-1983 között benyújtott több, mint 70 szabadalomtól 40-nél többet 1981 és 1983 között jegyezték be<sup>64</sup>. Ebben az új robbanóanyagban, nagyon kis átmérőjű ammónium-nitrát oldat csöppek ( $\varnothing$  10-4 mm) kerültek vékony olajréteggel bevonásra, a speciális gyártási technológia során. Ennek következtében a robbanóanyag vízálló, ugyanakkor a speciális emulgeáló szer tulajdonságai következtében robbanási tulajdonságait akár  $-25-30$  °C -on sem veszíti el. Mivel az emulzió önmagában nem tartalmaz robbanóanyagnak minősülő összetevőt, így csak érzékenyítő adalék hozzáadása után válik tényleges robbanóanyaggá (addig csak dízelolaj kategóriájú tűzveszélyes anyag!). Ez az érzékenyítő adalék üvegből vagy műanyagból készült, néhány mikron átmérőjű üres gömböcske. Az üvegyöngy szerepe az emulzióban az, hogy az indítótöltet robbanásakor képződő lökőhullám által létrehozott nagy és gyorsan terjedő nyomás hatására, a bennük lévő üregecskék energia koncentrációt (ún. „forró pontot”) generálnak, amely elegendő a vele szomszédos robbanóanyag-rész detonációjához, és ilyen módon a láncreakció végig viteléhez. Az emulzióba kevert üvegyöngy mennyiségével, egyben szabályozható a gyártott robbanóanyag iniciálhatósága, továbbá a külső hőmérséklethez való illesztése. Az emulziós robbanóanyagok az elmúlt 15-20 évben hatalmas változásokon mentek keresztül és még ma is a fejlődés stádiumában vannak. Az üvegyöngyön kívül, létezik a robbanóanyagnak gázosított buborékokat tartalmazó változata is, melynél a gyártás során az anyaghoz kevert gázfejlesztő anyag segítségével hozzák létre a „forró pontokat” képező üregecskéket.

**Befejezésként** a csatolt mellékletekben, a fent tárgyalt robbanóanyagok legfontosabb adatait foglaljuk össze<sup>65</sup>.

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

---

és technológiája az USA-ban), Nyedra, Moszkva, 1989., 76. o. - Dr. Földesi János: Robbanó emulziók és emulziókkal végzett külszíni robbantások tapasztalatai (MH SZCSP Műszaki Főnöksége továbbképzésére készített előadás, Baja, 1993.)

<sup>64</sup> Baron V. L.- Kantor B. H.: Tyehnyika i tyehnológija vzrивnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája és technológiája az USA-ban), Nyedra, Moszkva, 1989., 82. o.

<sup>65</sup> Az irodalomjegyzék [5] [10] [12] és [29] folyószámú anyagainak felhasználásával

## INICIÁLÓ ROBBANÓANYAGOK

Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyí összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm <sup>3</sup> )	Felhasználás
Ólom-azid (ólom [II] azid)	Pb (N <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Préselt $\rho = 4 \text{ g/cm}^3 = 5180$ $\rho = 3 \text{ g/cm}^3 = 4630$ $\rho = 2 \text{ g/cm}^3 = 4070$	gyutacsokba (lángérzékeny)
Durranóhigany (higany fulminát)	Hg (ONC) <sub>2</sub>	Ömlesztett: 1200 Préselt: $\rho = 4 \text{ g/cm}^3 = 5000$ $\rho = 3 \text{ g/cm}^3 = 4250$ $\rho = 2 \text{ g/cm}^3 = 3500$	gyutacsokba (lángérzékeny)
TNRSZ, tricinát (trinitro-rezorcinát)	PbO <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O	Préselt: $\rho = 2.9 \text{ g/cm}^3 = 5200$ $\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3 = 4900$	gyutacsokba (közvetítő töltet) csappantyúgba

## MAGAS ÉS KÖZEPES HATÓEREJŰ BRIZÁNS ROBBANÓANYAGOK

Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyí összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm <sup>3</sup> )	Felhasználás
Nitropenta, PETN, ten (pentaeritrit tetranitrát)	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>12</sub>	$\rho = 1.7 \text{ g/cm}^3 = 8300$	robbanószinór gyutacsok főtöltete pentolit gyártás
Hexogén, RDX (ciklo-trimetilén-trinitramin)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> N <sub>6</sub> O <sub>6</sub>	$\rho = 1.65 \text{ g/cm}^3 = 8180$	gyutacsok főtöltete robbanószinórok kumulatív töltetek keverék robbanóanyagok
Tetril (trinitrofenil-metil-nitramin)	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> N <sub>5</sub> O <sub>8</sub>	$\rho = 1.71 \text{ g/cm}^3 = 7850$	gyutacsok főtöltete booster robbanóanyag perforátorok keverék robbanóanyagok
Oktogén, HMX (ciklotetrametilén-tetranitramin)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>8</sub> O <sub>8</sub>	$\rho = 1.67 \text{ g/cm}^3 = 8900$ $\rho = 1.84 \text{ g/cm}^3 = 9124$	keverék robbanóanyagok NONEL csövek mélyfúrási robbanószinór, booster, perforátor
Amatol sorozat 50/50 60/40 80/20	Ammónium nitrát/TNT arány	$\rho = 1.55 \text{ g/cm}^3 = 6435$ $\rho = 1.55 \text{ g/cm}^3 = 5500$ $\rho = 1.55 \text{ g/cm}^3 = 5300$	bombák töltete, repszto töltet
A-3 keverék	Hexogén )91%, wax 9 %	$\rho = 1.59 \text{ g/cm}^3 = 8100$	repszto töltet



Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyí összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm <sup>3</sup> )	Felhasználás
B-keverék (hexotol)	Hexogén 60%, TNT 39 %, wax 1%	$\rho = 1.65 \text{ g/cm}^3 = 7800$	kumulatív töltetek, tüzérségi lö- szerek, aknák, gránátok
C-3 keverék	hexogén 77%, plasztifikátor 23%	$\rho = 1.60 \text{ g/cm}^3 = 7625$	plasztikus robbanóanyag
C-4 keverék	hexogén 91%, polizobutilén 2.1%, motorolaj 1.6%, sebacate 5.3%	$\rho = 1.59 \text{ g/cm}^3 = 8040$	plasztikus robbanóanyag
TNT, trotil (trinitrotoluol)	<chem>C7H5N3O6</chem>	Ömlesztett: 5200 Préselt: $\rho = 1.56 \text{ g/cm}^3 = 6700$ $\rho = 1.56 \text{ g/cm}^3 = 6900$	robbantó töltetek lőszer keverék robbanóanyagok booster
SEMTEX	nitropenta és/vagy az RDX	$\rho = 1.50 \text{ g/cm}^3 = 6100$	plasztikus robbanóanyag
SEMTEX 1A, SEMTEX 10	94.3 % PETN; 5.7 % RDX	$\rho = 1.40 \text{ g/cm}^3 = 7200$	plasztikus robbanóanyag
SEMTEX 1H	49.8 % PETN; 50.2 % RDX	$\rho = 1.40 \text{ g/cm}^3 = 7800$	plasztikus katonai robbanóanyag
Semtex <sup>®</sup> Pl-Hx-30	30 % PETN; 50 % RDX, 8 % Al-	$\rho = 1.40 \text{ g/cm}^3 = 7800$	plasztikus katonai robbanóanyag



	por, 8-11% stabilizátor		
Pikrinsav, (trinitrofenol)	picric-azid $C_6H_3N_3O_7$	$\rho = 1.71 \text{ g/cm}^3 = 7350$	robbanóanyagokban alkotórész
Nitroglicerin	$C_3H_5N_3O_9$	$\rho = 1.60 \text{ g/cm}^3 = 7700$	robbanóanyagokban alkotórész
Nitrocellulóz		lőgyapot - 7350	hajtótöltetek alapvető robbanó- anyaga
Baratol	67%TNT+33% bárium nitrát	$\rho = 2.55 \text{ g/cm}^3 = 5900$	repszító töltet, bombák
Edna (Haleite) etilén-dinitramin	$C_2H_6N_4O_4$	$\rho = 1.49 \text{ g/cm}^3 = 7570$	ednatol alapanyaga boosterek

## ALACSONY HATÓEREJŰ BRIZÁNS ROBBANÓANYAGOK

Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyi összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm <sup>3</sup> )	Felhasználás
Ammónium nitrát	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1100-2700	keverék RAG alkotórész
ANDO-V-100	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + olaj + emulgátor	$\rho = 1.28 \text{ g/cm}^3 = 5000$	gyutacsérzékeny, üveggyöngy érzékenyítésű emulziós RAG
ANDO-ÉV	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + olaj + emulgátor	$\rho = 1.15 \text{ g/cm}^3 = 5000$	gyutacsérzékeny, üveggyöngy érzékenyítésű emulziós RAG
Emulgit 82GP	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + olaj + emulgátor	$\rho = 1.20 \text{ g/cm}^3 = 3700$	gyutacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
Emulgit LWC	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + olaj + emulgátor	$\rho = 1.15 \text{ g/cm}^3 = 4300$	gyutacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
EMSIT 1	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + olaj + emulgátor	$\rho = 1.05 \text{ g/cm}^3 = 5200$	gyutacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
EMSIT M	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + olaj + emulgátor	$\rho = 1.09 \text{ g/cm}^3 = 5100$	gyutacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
LAMBREX 1	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + olaj + emulgátor	$\rho = 1.20 \text{ g/cm}^3 = 5500$	gyutacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ANDREJEV, K. K.- BELJAJEV, A. F.: A robbanó anyagok elmélete, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1965.
- [2] ARDAY Géza m. kir. honvédszázados: A lőpor és robbanó anyagok technológiája és történeti fejlődése, Szent Erzsébet Nyomda Részvénytársaság, Kassa, 1910.
- [3] BARON, V. L.- KANTOR, B. H.: Tyehnyika i tyehnológija vzrivnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája és technológiája az USA-ban). Nyedra, Moszkva, 1989.
- [4] BASSA, R.- KUN, L.: Robbantástechnikai kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [5] BOHUS G. – HORVÁTH Z.– PAPP J.: Ipari robbantástechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [6] FÖLDESI János: Bányászati robbantástechnika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- [7] HARASZTI J. - JUHÁSZ NAGY B. - KOMPOLTHY T. - MARÓTHY G. - SIPOS Z. - SZÜCS T.: Robbantóanyagok és robbantástechnika, Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1966.
- [8] KÖHLER, J. – MEYER, R.: Explosives – Fourth, revised and extended edition, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 1993.
- [9] SCHAFFER Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903.
- [10] FM 5-250 Explosives and Demolitions, Headquarters, Department of the Army, Washington, DC, 15 June 1992.
- [11] LUKÁCS László: A katonai robbantástechnika és a környezetvédelem - egyetemi jegyzet, ZMNE Hadtudományi kar, Műszaki harcászati-hadműveleti tanszék, Budapest, 1997.
- [12] TM 9-1300-214 Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984.
- [13] FÖLDESI János: Robbanó emulziók és emulziókkal végzett külszíni robbantások tapasztalatai (MH SZCSP Műszaki Főnöksége továbbképzésére készített előadás), Baja, 1993.
- [14] KOVÁCS Zoltán: Speciálne vojenské výbušny – Special military explosives, - előadás a Szlovák Robbantástechnikai Egyesület nemzetközi konferenciáján, Stará Lesná, 2008. 05. 29-30. (megjelent a konferencia kiadványában, pp. 179-184.) ISBN 978-80-968748-8-0
- [15] KOVÁCS Zoltán: Robbanóanyagok a katonai gyakorlatban - előadás a Magyar Robbantástechnikai Egyesület, „Fúrás-robbantástechnika 2008” Nemzetközi Konferenciáján, Vác, 2008. szeptember 16-18., megjelent a konferencia kiadványában, (HU ISSN 1788-5671)
- [16] LUKÁCS László: A robbanóanyagok történetéről, Új Honvédségi Szemle, 1996/11. szám, pp. 139-143.
- [17] LUKÁCS László: A robbanóanyagok kialakulásának rövid története, Műszaki Katonai Közlöny 2008/1-4. összevont szám, pp. 15-24.
- [18] Vezérfonal az utászszolgálat oktatásához – fordítás, Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt., Budapest, 1899.
- [19] E-23. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utász-szakaszai és század-utászai számára, Pallas Irodalmi és Nyomdai Részvénytársaság, Budapest, 1902.
- [20] E-32 (Műsz. okt.): Műszaki oktatás a nem műszaki csapatok számára + Ábrafüzet, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1926.
- [21] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. rész, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928.
- [22] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások II. rész + Mellékletek, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928-1929.
- [23] Robbantási segédlet, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [24] E-mű.1. Ideiglenes robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [25] Robbantások, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1953.
- [26] Mű/2. Robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1965.
- [27] Mű/213. Robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1971.
- [28] Mű/243. Műszaki szakutasítás a nem műszaki alegységek számára, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1978.
- [29] Military explosives and propellants study guide (Katonai robbanóanyagok és hajtóanyagok jegyzéke), Dover Piscatinny Arsenal, AMCAS 1966.





Prof. Dr. Lukács László<sup>1</sup> – Szalay András – Dr. Zádor István PhD<sup>2</sup>

## ROBBANTÁSOS FÉMALAKÍTÁS ÉS A REPÜLÉSTECHNIKA<sup>3</sup>

*A robbantásos fémalakítás történeti fejlődése. A nagysebességű fémmegmunkálás alapjai, módszerei. Előnyei és hátrányai a hagyományos fémalakításos, elsősorban préselési technológiákhoz képest. Fémről készült lemezek és csövek robbantásos alakításának, formázásának lehetőségei. Robbantásos fémmegmunkálással kapcsolatos szakirodalmak Magyarországon, a korábbi Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, dr. Mueller Othmár Robbantástechnikai Különgyűjteménye. Robbantásos fémalakítással készült alkatrészek az űr- és repüléstechnikában.*

### EXPLOSIVE FORMING AND THE AEROSPACE

*Historical note, of explosive forming. Technology overview is the high velocity metal deformation. Explosive forming methods metal sheets and tubes. Specialized explosive forming bibliography in Hungary – Othmar Mueller's Specialized Library by blasting technique and technology at the earlier Miklós Zrínyi National Defense University. Explosive forming manufacturing. Explosive forming parts in the aerospace.*

A robbantásos fémmegmunkálás elméletével és gyakorlatával a 40-es évek végén kezdtek el foglalkozni a kutatók a Szovjetunióban és az Amerikai Egyesült Államokban. A kutatások kiváltó oka, az ebben az időben megjelenő nagyszilárdságú fémek, és a belőlük készítendő egyre nagyobb méretű munkadarabok igénye volt. A robbanási lökéshullám energiájában próbálták – ma már mondhatjuk, hogy sikerrel – megtalálni azt az erőt, mely segítséget nyújthat a probléma megoldásában. A robbantásos plattírozás, kerámia- és fémpor tömörítés, valamint a fémalakítás, jelen világunk egyre szélesebb körben alkalmazott technológiái, melyek egyrészt új tulajdonságokkal rendelkező, többféle komponensből álló anyagok létrehozását, másrészt egyszerű, olcsó módszerek alkalmazásával nagyméretű, speciális munkadarabok kialakítását tették, teszik lehetővé. Jelen dolgozatunkban, a fémalakító robbantások fejlődést mutatjuk be, különös tekintettel a repülőiparban és az űrtechnológiában történő alkalmazás lehetőségeire.

## FÉMLEMEZEK ROBBANTÁSOS ALAKÍTÁSÁNAK TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSE

A fémlamezek robbantásos alakítása a kor technológiai vívmányának tűnik, de egyes források arról tudósítanak, hogy több mint egy évszázaddal ezelőtt már ismerték és alkalmazták fémek megmunkálására, a robbanás erejét. Állítólag 1878-ban, Manchesterben, bizonyos Daniel Adamson robbanással formált nagyszilárdságú kazánlemezeket. Később Kentben, Claude Johnson formázott robbantással, nehezen megmunkálható fémeket. Ugyanezen forrás szerint, ennek eredményeként jegyezték be Angliában az első robbantásos fémalakítási szabadalmat

<sup>1</sup> ny. mk. alezredes, CSc., egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

<sup>2</sup> S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft.

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán okl. mk. őrnagy, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

1889. szeptember 23-án, fémcső robbantásos tágitása kerékpár váz gyártásakor témában (British Patent no. 21840). 1909. november 9-én, az USA-ban jegyeztettek be szabadalmat, sík-lemezek robbantásos alakításával kapcsolatban (US Patent no. 939,702). Johnson találmányát az 1950-es évek elején adaptálta a Moore Company of America, és nagyméretű ventilátor tárcsákat kezdett robbantással előállítani, ezzel 15 %-os költségcsökkentést érve el, a hagyományos, mechanikus gyártáshoz képest. [43]

Az igazi fellendülést azonban a II. világháborút követően figyelhetjük meg a robbantásos fémalakítás terén, amikor a technikai fejlődés új igényeket állított a szakemberek elé. A repülőgép- és hajógyártás egyes munkadarabjainak, valamint az egyéb területeken jelentkező, pl. nagyméretű tartályok gyors és nagy pontosságú, lehetőleg egy munkafázisban történő előállítása, a korábbi fémmegmunkálási eljárásokkal egyre kevésbé volt sikeresen végrehajtható.

Nem elhanyagolható szempontként kellett figyelembe venni a gyártás gazdaságosságát sem, mely egyre újabb lehetőségek, módszerek keresését követelte meg az üzemektől és a kutatóintézetektől. Ez azt jelentette, hogy minél kevesebb részegységből, minél kevesebb hegesztési munkával és az ezt követő, elengedhetetlenül szükséges felület megmunkálási feladattal sikerült egy adott formát elkészíteni, az annál kevesebb időt és élő munkát követelt, az által pedig annál olcsóbban volt előállítható.

A repülő és járműiparban előtérbe került az ideális felület és forma kialakítás igénye is, mely révén csökkenthető a légellenállás, így gazdaságosabba üzemeltethető a jármű. Könnyen belátható, hogy ehhez is a lehető legkevesebb részegységből célszerű kialakítani a munkadarabot.

A vegyipar egyre nagyobb méretű, több méter átmérőjű tartályokat igényelt, melyek kialakításánál megint csak nem volt célszerű, pl. a tartály fenekek több cikkből, hegesztéssel történő előállítása, a fent jelölt hosszú és gazdaságtalan utómunkálatokkal.

A megoldást természetesen a fémlemezek préssel történő kialakítása jelentette volna (mélyhúzási technológia), csak hogy ilyen méretek és az alapanyagként a piacon megjelenő nagyszilárdságú fémek tulajdonságai miatt, a kor rendelkezésre álló berendezései, erre a feladatra alkalmatlannak bizonyultak. Az 50-es években megjelenő új 150-200 kg/mm<sup>2</sup> szilárdságú rozsdamentes acélok, nem is beszélve a króm-acélokról és a titán ötvözetekről, rendelkeztek azon kellemetlen tulajdonsággal is, hogy a korábban alkalmazott módszerekkel nem, vagy csak nehezen voltak megmunkálhatóak. Az új ötvözetek egy részénél a hagyományos, meleg megmunkálás során káros, az anyagminőséget rontó változások következtek be az anyag szerkezetében, így csak a normál hőmérsékleten történő megmunkálás jöhetett szóba. De hogy lehet hideg körülmények között plasztikus, nagy pontosságú alakváltoztatásra kényszeríteni, egy egyébként is nagy szilárdsági mutatókkal rendelkező fém?

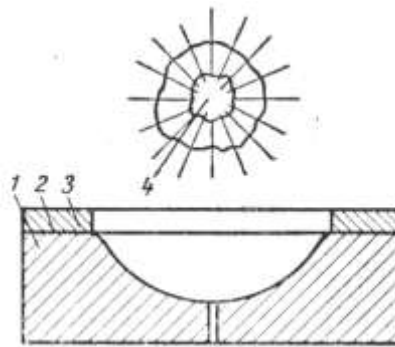
Az orosz Pihtovnyikov és Zavjalova, már 1964-ben megjelent könyvükben szembesítenek azzal a problémával, melyet a nagyszilárdságú fémlemez, présgépben történő képlékeny alakítása jelent<sup>4</sup>. Azt írják, hogy nincs olyan berendezés, mely lehetővé tenné olyan hatalmas nyomás létrehozását, mely a lemez teljes vastagságában biztosítaná a plasztikus zóna létrehozását. Példájukban írják, hogy akár csak néhány milliméter vastagságú, nagyszilárdságú le-

<sup>4</sup> ПИХТОВНИКОВ, Р. В. – ЗАВЯЛОВА, В. И.: Stampovka lictovova Metala vzrivom, Masinoszroenyie, Moszkva, 1964. p. 7.

mez, fenti követelmények szerinti préseléses megmunkálásához is, hatalmas méretű gyártó berendezésre lenne szükség: egy 2,5\*2,5 m-es, 120 kg/mm<sup>2</sup> szilárdságú acéllemezt, 50 000 t-ás nyomóerővel rendelkező présgéppel lehetne megmunkálni, mely csekély 15 000 t-ás önsúllyal rendelkezne. Egy ilyen hatalmas berendezés előállítás, üzemeltetése és üzemben tartása hatalmas anyagi és munkaerő ráfordítást igényelne.

A jelzett problémák megoldására érdekében folytatott vizsgálatok során megállapítást nyert, hogy az ipari igényeknek vannak olyan sajátos területei, pl. a repülőgép- vagy a hajógyártás [39], ahol viszonylag kis darabszámú, viszont nagyméretű, egy darabból préselt alkatrész elkészítésére van igény. Ezekhez nem lehet gazdaságos présgépes technológiát rendelni, így más utat kell találni.

1948-1949-ben a Harkovi Repüléstudományi Intézet kísérleteket hajtott végre ilyen jellegű alkatrészek, robbantással történő kialakítására<sup>5</sup>. Kezdetben a présgépeknél alkalmazott formákat használták fel arra, hogy a lemezeket a kívánt formára alakítsák brizáns robbanóanyagok alkalmazásával. Közvetítő közegként először a levegőt, majd később vizet alkalmaztak (lásd 1. ábra). A módszer nagy előnyének tűnt a présgépes alakításhoz képest annak olcsósága és rugalmassága (akár beton, vagy műgyanta formába robbantva, különösebb technikai feltételek nélkül, kis szériában is gazdaságosan gyárthatók nagy pontosságú, megfelelő felületi simaságú, viszonylag bonyolult alkatrészek).



1. ábra Robbantásos lemezalakítás elvi vázlata

1 – forma; 2 – rögzítő (ráncfogó) keret; 3 – az alakítandó lemez; 4 –robbanóanyag töltet

Ugyanakkor a kutatók vizsgálták azt is, hogy a nagyszilárdságú, hideg fémlemezre ható extrém rövid időtartamú, nagyon magas robbanási nyomás hogyan hat a fémre? Nem csökkennek-e ennek hatására a fém plasztikus tulajdonságai, egyáltalán nem megy-e tönkre maga a robbantandó lemez, nem változik-e meg a fém kristályszerkezete, nem keletkeznek-e benne káros mikro-repedések?

A nemzetközi ipari és tudományos intézetek, széleskörű kutatásokat végeztek e kérdések tisztázására. Az Amerikai Egyesült Államokban 1956-tól kezdődő kutatások végkövetkeztetése szerint, a robbanási energia különösen hatékonynak bizonyult a nagyszilárdságú, de még a kis plaszticitással rendelkező fémek alakítására is (Holtzman A. H., Cowan G. R., és mások) [15] [16]. A robbanási nyomás hatására, a fémlemez egyenletesen deformálódva, a présgépes alakításkor a sarkoknál időnként előforduló törések nélkül felvette a forma alakját, felületi minősége (simasága) pedig a forma felületi minőségét.

A robbantásos fémalakítással kapcsolatos fejlesztésekbe sorban kapcsolódtak be más államok

<sup>5</sup> Uo. p. 9.

kutatói is, pl. Lengyelországban [2][18][20], Csehszlovákiában [3][34], Angliában [4][5][6], Franciaországban [30], Dániában [1][11], Svédországban [12][13], a Német Szövetségi Köztársaságban [29][33], a Német Demokratikus Köztársaságban [14][22] és Japánban [38]. Magyarországon a Gépipari Technológiai Intézetben (Czeplédi Istvánné) [7][8][9][10] és a Villamos Ipari Kutatóintézetben (Szalay András, Bérczes Imre, Puskás József) [31], továbbá a Budapesti Műszaki Egyetemen (dr. Susánszky Zoltán) [35][36][37] folytak kutatások, fejlesztések.

## A ROBBANÁS MINT ANYAGFORMÁLÓ ERŐ

### A robbanóanyagok jellemzői

A kémiai robbanás eredményeként, egy nagysebességű reakció során, hirtelen (százvezred másodperc alatt), nagy hőfejlődés mellett, nagymennyiségű gáz képződik. A magas hőmérsékleten a gázok kitágulnak, a levegőben egy lökéshullámot generálva. Ennek energiáját használják fel – többek között – a fémalakító –megmunkáló robbantások során is.

A folyamat nagyságrendjét érzékeltetik orosz szerzők művükben<sup>6</sup>: egy kilogramm TNT<sup>7</sup> (melynek a térfogata  $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ ) robbanása során, mely  $10^{-6}$  másodperc alatt megy végbe, mintegy  $3000 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékletű gáz képződik. Ez a gáz mely normál,  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten  $8,4 \text{ m}^3$  térfogatú lenne, a jelzett magas hőmérséklet hatására, hirtelen kitágul. Az ideális gázokról szóló Boyle-Mariott törvény alapján, a robbanási termékek nyomása ilyen paraméterek mellett egyenlő  $1,3 \text{ GN/m}^2$ .

Mynors és Zhang ennél is magasabb értékeket közöl, mikor a magas és közepes hatóerejű brizáns robbanóanyagok alkalmazásának előnyeit mutatják be a robbantásos fémalakítási technológiákban: a dinamit, nitropenta, trotil és hexogén robbanóanyagokat említve,  $13,8\text{--}27,6 \text{ GN/m}^2$  nyomás értékről írnak [43]. Ez a nyomás érték a másodperc milliomod része alatt keletkezik, és hatalmas erejű lökéshullámként hatva a környezetében, az útjába kerülő akadályokat szétzúzza, vagy deformálja. A robbanóanyag jellemzői, a töltet alakja, a céltárgy távolsága és annak anyag-jellemzői fogják meghatározni, hogy ez a lökéshullám pusztítani, vagy csak számunkra ideális módon formálni fog?

Az 1. táblázatban néhány robbanóanyag, robbantásos fémmegmunkálás szempontjából fontos adatát mutatjuk be.

Robbanóanyag	Töltet típusa	Deformációs sebesség [m/s]	Energia [J/g]	Nyomás [GPa]
Trotil	öntött	7010	780	16
Hexogén	préselt	8382	1265	23
Nitropenta	préselt	8290	1300	22
Pentolit (50/50)	öntött	7620	945	20

1. táblázat Robbanóanyagok és jellemzőik<sup>8</sup>

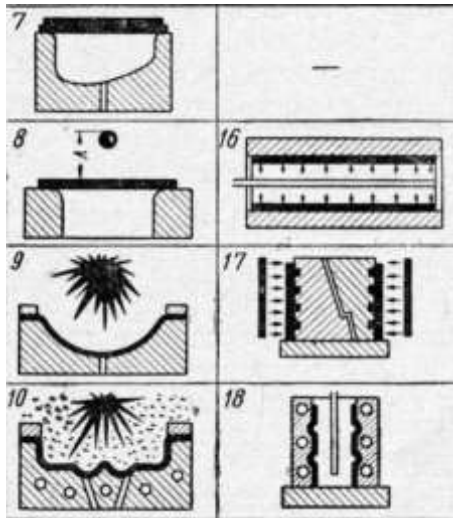
<sup>6</sup> KRUPIN, A. V. – SZOLOVJOV, V. J. – SEFTEL, N. I. – KOBELJOV, A. G.: Deformácija metalov vzrivom, Metalurgia, Moszkva, 1975. p. 9.

<sup>7</sup> trotil – közepes hatóerejű, brizáns robbanóanyag

<sup>8</sup> Daehn, G. S.: High Velocity Metal Forming, ASM Handbook, Volume 14B, Metalworking: Sheet Forming, ASM International, 2006. p. 410. I. táblázat alapján

## A fémalakító robbantási technológia alapjai

A brizáns robbanóanyagok segítségével végrehajtott fémalakítást lehetőségeit mutatja be a 2. ábra.



2. ábra Robbantásos fémmegmunkálási eljárások<sup>9</sup>

Az ábra baloldalán a sík lemezek, jobboldalon pedig fémből készült térbeli alakzatok robbantásos formázási lehetőségei láthatók.

A 7. számmal jelzett kis ábra a fémlemezen elhelyezett kontakt (szabadon felfektetett) töltet hatását szemlélteti. Ebben az esetben, a céltárgyra, mintegy  $147,1 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$  nyomás hat. A deformálódás mértékét, a robbanóanyag-réteg vastagságának változtatásával érhetjük el. A módszer hátránya (nem számolva a nagymennyiségű robbanóanyag szükségletet), hogy már minimális robbanóanyag többlet is, a munkadarab sérülést, rongálódását eredményezheti. A kontakt (ráhelyezett) töltetekkel, a fémlemezek robbantásos plattírozásában érhetünk el kiváló eredményeket, a fémalakításban kevésbé hatékonyak.

A további alkalmazásoknál, a töltet nem érintkezik a céltárggyal, attól pontosan meghatározott távolságban helyezkedik el. A kutatók vizsgálták, hogy a robbanási lökeshullám mely közegek alkalmazásával végzi a legtokéletesebb alakítást.

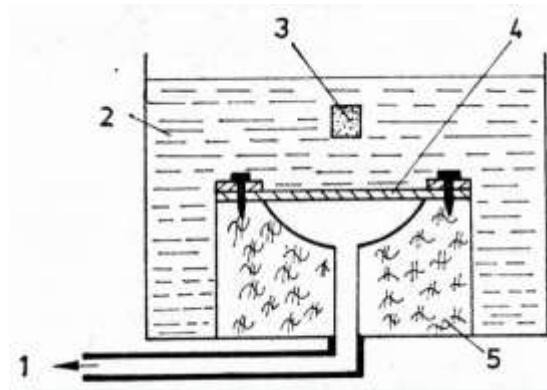
A 8. és a 16. kis ábrákon, a töltet és a céltárgy között csak levegő van. A kísérletek azt igazolták, hogy a gáztermékek alakító képessége ebben az esetben sem éri el, a 9. és 17. kis ábrákon szemléltetett módszerét, mikor a robbanási nyomást, folyadékok segítségével közvetítették a lemezre.

A folyadékban végrehajtott robbantásos fémalakítás technológiája, bár az előkészítő munkákat tekintve hosszadalmasabb, mint egy présgéppel végzett megmunkálás, az alkalmazott anyagokat tekintve viszonylag egyszerű. A hagyományos sajtolóiparban alkalmazott többrészes, bonyolult és költséges szerszámok helyett, az alakító forma (matrica), csak egy aktív elemből áll, és tulajdonképpen, a késztermék negatív formája. Ennek alapanyaga, a kis darabszámú gyártás esetén lehet akár műanyag, vagy beton is (a munkadarab jellegétől függően).

Síklemeszek robbantásos alakításakor, a matrica felső síkjára, hermetikus tömítés segítségével

<sup>9</sup> ПИТОВНИКОВ, Р. В. – ЗАВЖАЛОВА, В. И.: Stampovka lictovova Metala vzrivom, Masinoszroenyie, Moszkva, 1964. p. 19. 5. sz. ábra alapján

illeszkedik a kiinduló lemez, melyet a végtermék formájának megfelelő, úgynevezett ráctartó rögzít a formához. A ráctartó akadályozza meg, hogy a lemez a robbantási folyamat során károsan deformálódhasson. A munkavégző robbanóanyagot, a kalkulált mennyiségben és meghatározott formában, a lemez fölé helyezik, majd az egész berendezést egy vízzel teli medencébe süllyesztik (lásd a 3. ábrát). A folyamat kiegészülhet, a lemez és a matrica közötti térből, a levegő kiszivattyúzásával.



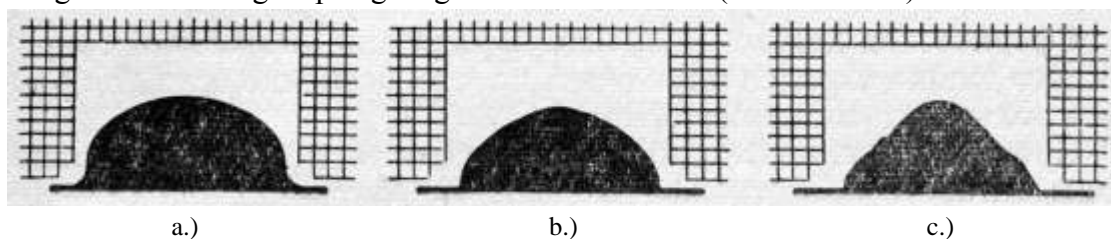
3. sz. ábra: Robbantásos lemezalakítás folyadék közegben<sup>10</sup>

1 – vákuumszivattyú; 2 – víz; 3 – robbanóanyag; 4 – alakítandó lemez; 5 – forma (matrica)

A robbantás következtében, a keletkező gáztermékek a környező víztömegben, egy nagy sebességgel haladó, 100-3000 atmoszféra csúcsnyomású hullámfrontot hoznak létre, mely a lemezt több száz m/s sebességre gyorsítja fel, és mintegy „belelövi” a szerszám alakító terébe. Ilyen sebesség mellett a lemez, beleütközve a matricába, annak legkisebb részletét is teljesen kitölti. [35]

A kutatók vizsgálták a robbanóanyag-céltárgy optimális távolságát, és a robbanási energiát közvetítő folyadékok terén is próbálták a legideálisabbat megtalálni.

A robbanóanyag-céltárgy közötti távolság meghatározásánál, az egyik kísérlet során alumínium öntvény céltárgytól robbantottak gömb alakú, plasztikus robbanóanyagból készült töltetet, 13-25-38 milliméter távolságban. A 25 mm távolságban elhelyezett töltet tökéletesen kialakította a lemezből a matrica által kínált formát. 38 mm távolságból az alakítás nem volt tökéletes, a legkisebb távolságnál pedig megsérült a munkadarab (lásd a 4. ábrát).

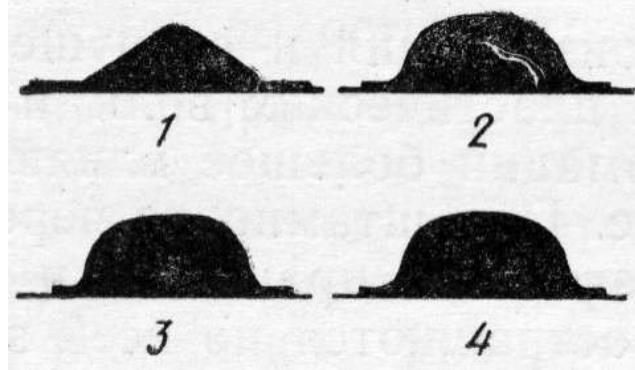


4. ábra Alakítás a robbanóanyag-céltárgy távolság függvényében<sup>11</sup>  
a.) 25 mm távolság; b.) 38 mm távolság; c.) 13 mm távolság

A közvetítő közeget vizsgálva, azonos céltárgy, robbanóanyag és töltet-céltárgy távolságot alkalmazva, levegő, víz, kerozin és glicerín alkalmazásával hajtották végre a robbantást (lásd az 5. ábrát).

<sup>10</sup> Dr. Bohus-Horváth-Papp: Ipari robbantástechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983. p. 57., 2.30. ábra

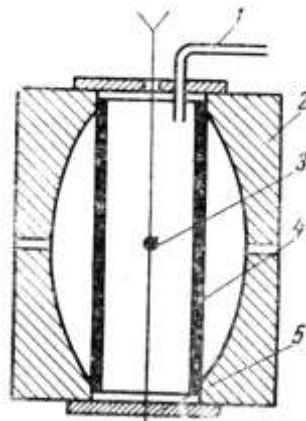
<sup>11</sup> ПИХТОВНИКОВ, Р. В. – ЗАВЯЛОВА, В. И.: Stampovka lictovova Metala vzrivom, Masinoszroenyie, Moszkva, 1964. p. 133. 67. sz. ábra alapján



5. ábra: Kísérlet a robbanási hatást közvetítő közegre<sup>12</sup>  
1 – levegő; 2 – víz; 3 – kerozin; 4 – glicerin

A kísérlet egyértelműen alátámasztja korábbi megállapításunkat, mely a levegő, mint robbanási nyomást közvetítő közeg nem optimális voltát jelezte.

Térbeli kiinduló alakzat robbantásos formázása során, a síklemezeknél alkalmazott medence szerepét, maga a formázandó tárgy veszi át (lásd a 6. ábrát).



6. ábra: Térbeli alakzat robbantásos formázása<sup>13</sup>  
1 – vízcső; 2 – matrica; 3 – robbanóanyag töltet; a formázandó cső (céltárgy); 5 – alátét (záró) lemez;

A robbanóanyag által keltett lökeshullám, mint fémalakító „szerszám” hatásmechanizmusáról, dr. Susánszky Zoltán az alábbiakat írja egy 1984-es tanulmányában:

„A robbantótechnológia területén végzett kutatások ma elsősorban az energiaátvitel mechanizmusának a mélyebb feltárására irányulnak. Az eddigi eredmények alapján ugyanis joggal feltételezhető, hogy az eljárás számos nyitott kérdése és nehezen irányítható részfolyamata az alakító-impulzus sajátosságainak megismerésével megválaszolható, illetőleg irányítható lesz.

A kutatóknak e téren fel kell adniuk a szokásos technikai szemléletet és nagyságrendeket, mert ezekben a folyamatokban a nagy nyomások és igen rövid időtartamok fizikájának a törvényei érvényesek. Az alakításnál használatos ún. brizáns robbanóanyagokban ugyanis a detonáció során 100 000-300 000 atmoszférás nyomások uralkodnak, melyek még a környező

<sup>12</sup> KRUPIN, A. V. – SZOLOVJOV, V. J. – SEFTEL, N. I. – KOBELJOV, A. G.: Deformácija metalov vzrivom, Metalurgia, Moszkva, 1975. p. 353., 176. ábra alapján

<sup>13</sup> PIHTOVNYIKOV, R. V. – ZAVJALOVA, V. I.: Stampovka lictovova Metala vzrivom, Masinoszroenyie, Moszkva, 1964. p. 122. 62. sz. ábra alapján

közegben is 200-4000 atmoszférás lökéshullámot indukálnak. Ilyen nyomásintervallumban nem érvényes pl. a folyadékok összenyomhatatlanságának a törvénye sem; a hullámok sűrűsödési frontok formájában jelennek meg. Az epicentrum környezetében a lökéshullámok a vízre jellemző hangsebesség (1500 m/s) többszörösével futnak szét, így érthető, hogy az alakítandó lemezt a földi gravitáció ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) több tízezerszeresével gyorsítják fel.

Ilyen gyorsulások és tömegezők esetén elképzelhetők olyan rendkívül gyorsan lejátszódó reverzibilis fémfizikai folyamatok, amelyek megmagyaráznák a legellenállóbb fémek csak robbantásnál meglévő kedvező alakítási sajátosságait.<sup>14</sup>

## **Robbantásos fémmegmunkálással kapcsolatos szakirodalom Magyarországon**

A robbantásos fémalakítás súlypontja ma már a kutatóhelyek falai közül, az iparszerű gyártás területére került át. Ennek megfelelően átalakultak az ismeretszerzés és –közlés lehetőségei és formái is. Az 1960-as és 1970-es években megjelent szakkönyvek, tanulmányok részletes számítási eljárásokat és technológiai módszereket mutattak be (lásd pl. [17][28]). Ma, mikor a robbantással formázott fém alkatrész kísérleti mintadarabból, egyfajta technikai kuriózumból termékké vált, akkor elsősorban piackeresési, piacszerzési ismertetőkkel találkozunk az irodalomkutatást végző.

Hazánkban egyedülként az S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft-ben dolgozó szakemberek folyatták tovább a korábban, a Villamos Ipari Kutató Intézetben megkezdett ez irányú munkát. Az ő elméleti felkészültségüket és gyakorlati tapasztalataikat kivéve, a kérdés iránt érdeklődők, csak szakirodalom kutatással juthatnak információkhoz.

Az Internet korában az információszerzés lehetőségei, korábban elképzelhetetlen szintre emelkedtek – a fent jelzett korlátokkal. Vagyis az érdeklődés felkeltésére, alapfokú ismeretek szerzésére megfelelnek a világhálón megtalálható és letölthető anyagok, de aki szakmailag mélyebb információra vágyik, az innen kevés segítséget kap. De akkor hol kutasson a robbantásos fémmegmunkálás iránt érdeklődő?

A választ keresve, meglepődve tapasztaltuk, hogy a leginkább kézenfekvőnek tűnő Országos Műszaki Könyvtárban csalódás fog érni bennünket. Egy 1973-ban kiadott Robbantástechnika ajánló bibliográfia [32] az, egyébként összességében is szegényesnek tekinthető 437 tételből, szakkönyvek között egyetlen, ezzel a témával foglalkozó alkotást sem említ. A konferencia kiadványok között bukkanunk az egyedülként fellelhető kiadványra, az 1970-ben, Máriánské Láz né-ben tartott, Robbantásos plattírozás témájú szimpózium anyagára. Pedig lett volna mit beszerezni, a kutatni vágyók elé tárni ebben az időszakban is. Erre példa, a ma Nemzeti Közszerzői Egyetem (korábban Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem), Tudományos Könyvtára, Mueller Othmár Robbantástechnikai Külön-gyűjteménye.

Dr. Mueller Othmár (1932-2002), mint az Építéstudományi Egyesület, Robbantástechnikai Szakbizottságának alapítója, és haláláig vezetője, továbbá az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet igazgatója, a polgári esetek robbantásos szakértésén kívül, a bűnös célú és terrorista

---

<sup>14</sup> Dr. Susánszky Zoltán: Robbanóanyagok alakítják a fémeket, a 18. hazai építőipari (bányászaton kívüli) robbantástechnikai konferencia (Nagykanizsa, 1984. október 10.) előadásainak és ismertetőinek összefoglalói, Az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet (IMSZI) 1984/17. közleménye, egyben az ÉTE Robbantástechnikai Szakbizottsága 285. sz. közleménye, Budapest, 1984. p. 8.



robbantások területét kutatta<sup>15</sup>. 1969-től kezdődően, minden anyagi támogatás nélkül, levelezés, sok munkával kiépített kapcsolatok révén létrehozta, az Európában egyedülálló Robbantástechnikai szakkönyvtárat. A mintegy 26 ezer kötet, az 1800-as évek közepétől felöleli a világ számos országában megjelent, robbanóanyagokkal, robbantástechnikával foglalkozó könyveket és tanulmányokat, kiegészítve a mintegy 30 ezres cikkgyűjteménnyel, sok ezer prospektussal és több mint 100 videokazettán lévő szakfilmmel.

A katonai felsőoktatásban oktatóként, továbbá a Nemzetvédelmi Egyetem Doktori Iskoláján tudományos értekezések műhelyvitáin, majd a Katonai Műszaki Doktori Iskolán tantárgyfelelősként közreműködött. Nyugdíjas éveiben kezdett foglalkozni a könyvtár további sorsával, és végül is végakaratóban a Magyarországon, szervezett oktatás formájában jelenleg legmagasabb szinten robbantástechnikával foglalkozó tanintézetnek ajánlotta fel a szakkönyvtárat, a Nemzetvédelmi Egyetemnek. Egyetlen kikötése az volt, hogy a Központi Könyvtár részeként, de önálló gyűjteményként maradjon meg. [19]

Mueller Othmár nem csak gyűjtötte, hanem katalogizálta is gyűjteményét, bibliográfiai gyűjteményeket [25][26][27], a robbantástechnika különböző területeiről szakcikk jegyzékeket állított össze, ezzel is segítve a könyvtárban kutatók munkáját. Nyugodtan állíthatjuk, hogy ma Magyarországon ebben a könyvtári (ma már) külön-gyűjteményben található a legnagyobb, robbantásos fémmegmunkálással foglalkozó könyv és szakcikk kollekció. Az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet 1984/8. sz. közleményeként megjelent, a Robbanásos fémmegmunkálásra vonatkozó szakcikk jegyzék 100 könyvet, 189 szakcikket és 33 egyéb a témába vágó prospektust, egyéb ismertető anyagot sorol fel [24]. A gyűjtemény természetesen tovább bővült Mueller Othmár 2002-ben bekövetkezett haláláig.

Eredeti helyén, könyvtári rendszerben feldolgozva, csoportosítva voltak elhelyezve a könyvek és egyéb írásművek. A költözést követően, a Nemzetvédelmi Egyetem Központi Könyvtára hozzákezdett az anyag elektronikus formában való katalogizálásához, egy 2003-ban elnyert pályázat segítségével. Sajnos az anyagi források kimerülésével ez a munka félbe maradt, így a téma iránt érdeklődő kutatók feladata, hogy a hatalmas gyűjteményből előkeressék, újból rendszerezzék ezeket a műveket. A Nemzetvédelmi Egyetem és az Óbudai Egyetem által 2011 őszén közösen elnyert TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 pályázat, Nagy energia sebességű alakítások alprogram, Robbantásos fémmegmunkálás kiemelt kutatási terület keretében dolgozó kollégák, többek között ezt a munkát is elvégezni tervezik a program kétéves időtartama alatt.

### **Robbantásos fémalakítás, gyártás üzemi körülmények között**

A tanulmány elején említettük, hogy többek között a robbanásos fémalakítás egyik nagy előnye a préseléses formálással szemben, a nagyméretű berendezések elhagyása, a gyártás viszonylag csekély anyagi költsége.

---

<sup>15</sup> Kandidátusi disszertációját is ebből a témából védte meg sikeresen 1995-ben, a Zrínyi Miklós Katonai Akadémián

A fémalakítás technológiáit, azok jellemzőit foglalja össze a 2. táblázat<sup>16</sup>

Alakító eljárás	Korlátok	Az anyag alakulása
Robbantásos alakítás	Nem korlátozott: a robbanóanyagok tömege és alakja tetszőleges lehet	A fém pontosan felveszi a szerszám alakját. A kiindulási lemezalak optimalizálható
Sajtolás/mélyhúzás	A lemez vastagsága és mérete a prés méretétől és kapacitásától függ. Maximum 3x2 m, nagy prések esetén. 10 mm-nél vastagabb acélok esetén kis mélységű üreges alakok. Sajtolás előtti hevítés segíti a méret- és vastagságnövelést	A fémanyag két szerszám-fél között van sajtolva. A fém a mozgó szerszám-fél nyomja meg.
Nyújtó alakítás	Nagy, sekély mélységű üreges formák vékony lemezből (< 5 mm)	A fémlemez két ellentétes oldalán rögzítve van, az alakadó szerszám felett. Az anyag a végleges alak eléréséhez helyenként erősen nyúlik.
Szuper képlékeny alakítás	Nagy mélységű üreges formák, éles részletekkel	A szuper képlékeny fémeket hevítik és nagyon lassan sajtolják a végső alakra, folyadék vagy gáznyomással. Az anyag csak ott folyik, ahol nem érintkezik a szerszámmal, következésképpen erősen elvékonyodik.
Domborítás (tányérnyomás)	Nagyméretű sekély üreges alakok vastag lemezekből. Nem szimmetrikus alakok is létrehozhatók, de nehezen	A fémlemez különböző pontjait többször egymás után megnyomják, míg a végső görbületet eléri

2. táblázat Fémalakító technológiák jellemzői

A 3. táblázatban a különböző fémalakítási eljárások költség vonzatait és a termék jellemzőit mutatjuk be<sup>17</sup>

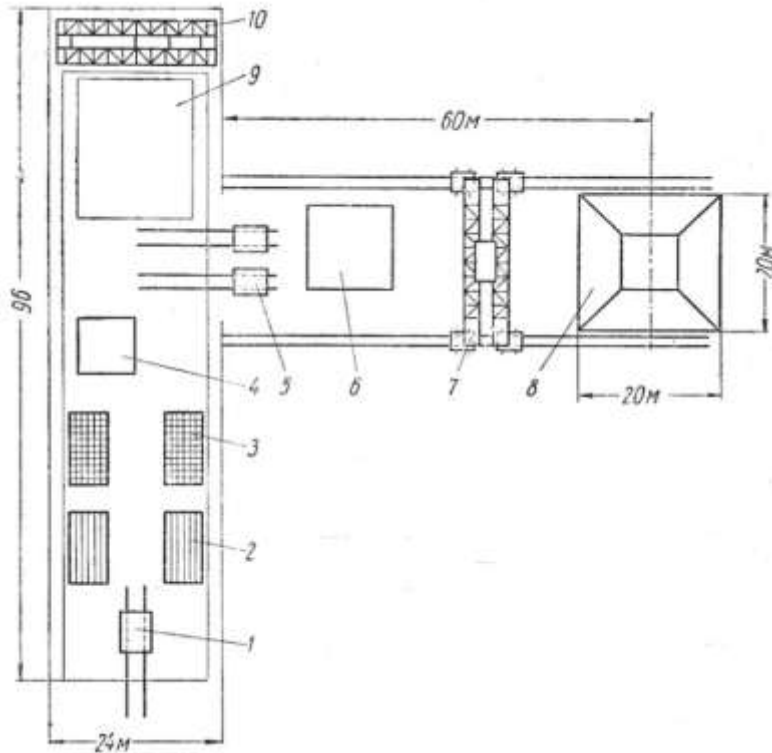
Technológia	Költségek		Gyártmány tulajdonságok		
	beruházás	gyártási költségek	pontosság	vékonyodás	nyúlás
Alaknyomás	+	+	-	--	-
Gumi sajtolás	+	+	o	o	+
Hidraulikus alakítás	+	+	o	+	+
Robbantásos alakítás	+	-	+	+	+
Sajtolás/mélyhúzás	--	++	o	-	o
Nyújtó alakítás	o	-	++	-	o
Szuper képlékeny alakítás	-	--	+	--	o
Domborítás (tányérnyomás)	++	o	--	o	o

3. táblázat Fémalakítási eljárások a költségek és a gyártmány tulajdonságai tükrében + = jó; - = rossz

Végezetül a gyakorlati megvalósíthatóságra mutatjuk be az irodalomjegyzék [28] számú anyagában található, robbantásos fémalakító „üzem” vázlatát, a 7. ábrán. A munkaterületen egy vegyipari gépgyártó vállalat részére készítettek nagyméretű tartályfenekeket, robbantással (a maximális átmérő 3,5 m, a formázandó fémlemez vastagsága 10 mm és e fölött). Robbanóanyagként robbanózsinórt alkalmaztak, megfelelő formában elhelyezve a munkalemezen.

<sup>16</sup> Az irodalomjegyzék [45] sz. anyaga alapján

<sup>17</sup> Az irodalomjegyzék [45] sz. anyaga alapján



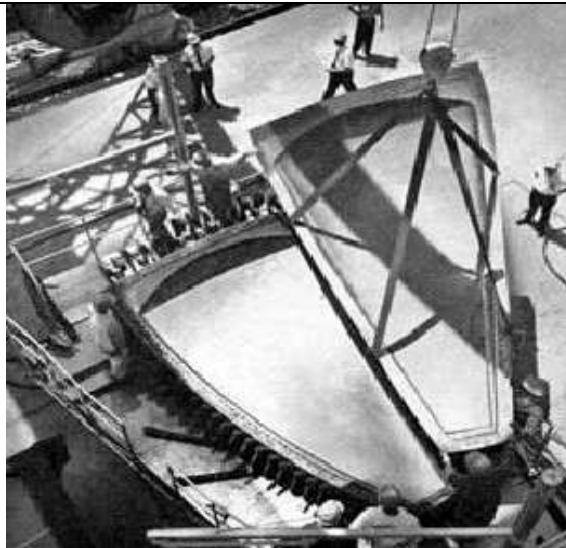
7. ábra Robbantásos fémalakító munkahely vázlata<sup>18</sup>

1 és 5 – villamos targoncák; 2 és 3 – anyag előkészítő munkaállomások (hegesztés, szabás); 4 – előkészített munkadarab tisztítás; 6 – matrica előkészítés; 7 és 10 – hídaru; 8 – robbantó medence; 9 – a munkadarab matricába helyezése.

## ROBBANTÁSOS FÉMMEGMUNKÁLÁS ÉS A REPÜLÉS

Az 1950-es és 1960-as években, a robbantásos fémmegmunkálás fejlesztésének motorja a repülőipar volt. Az 1960-as években csak az USA kormánya több mint 80 fejlesztési programot futtatott párhuzamosan ebben a témában. A North American Aviation fejlesztésében, robbantással készült alkatrészeket használtak fel a Mercury, a Gemini és az Apolló űrrakéták gyártásakor. Ugyancsak robbantással alakították ki a Saturn indítórakéta első fokozatához a 10 m átmérőjű hajtómű fűvócső egységeket (lásd a 8. ábrát). Ezt a technológiát alkalmazta a cég az USA ballisztikus rakéta programjaiban is.

<sup>18</sup> ПИТОВНИКОВ, Р. В. – ЗАВЯЛОВА, В. И.: Stampovka lictovova Metala vzrivom, Masinoszroenyie, Moszkva, 1964. p. 165. 81. sz. ábra alapján



8. ábra Saturn V indítórakéta 10 m átmérőjű alkatrésze<sup>19</sup>

A NASA megrendelésére repülőgépek és rakéták üzemanyag ellátó rendszereinek csatlakozó elemeit alakították ki robbantással ötvözött acélcsövekből, a repülőgép ipar számára pedig hangtompító csőidomok készültek ezzel a technológiával austenites acélcsövekből.

Az Aerojet Corporation 1,37 m átmérőjű rakéta hajtómű fűvócsövet robbantott 3,175 mm vastagságú nagyszilárdságú acélból (lásd a 9. ábrát), alumínium ötvözetből pedig 3,05 és 1,52 m átmérőjű fűvócsövet robbantottak, a US Air Force rakétafejlesztési programjához. [42][43]



9. ábra Rakétahajtómű robbantással kialakított harangja<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Ghizdavu, V. – Marin, N.: Explosive forming – economical technology for aerospace structures, INCAS BULLETIN, Volume 2, Number 4./2010., p. 108. Fig. 1. alapján

A US Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) is nagyarányú kutatásokat hajtott végre az 1960-as években, a robbantásos fémmegmunkálási technológiai terén. Az eredmények a költségtakarékos fém és fémötvözet alakítás terén jelentkeztek, melyek azonnal gyakorlati alkalmazásra is kerültek, a Védelmi Minisztérium különböző programjaiban. Robbantásos fémalakítási technológiával készült az SR-71 „Blackbird” után-égető gyűrűje és így formázták a gép titánból készült törzs-lemezének bizonyos részeit is (10. ábra). Ugyancsak e technológia eredményei voltak a P-3 Orion repülő borítása, harcászati rakéták hajtómű fűvőcsövei, vagy a turbina motorok hővédő pajzsai. A DARPA a 20. század utolsó éveiben is aktívan dolgozott a robbantásos fémmegmunkálási technológiák fejlesztésén. Az USA Védelmi Minisztérium igényei alapján 19 kutatásuk folyt ezzel kapcsolatban. [41][42][43]



10. ábra SR-71 „Blackbird”<sup>21</sup>

A kutatás-fejlesztésekbe az 1970-es években egyre több európai ország kapcsolódott be (a volt Szovjetuniót nem is említve – a tanulmány elején utaltunk rá, hogy kezdetektől az USA és ez az ország járt élen az ez irányú fejlesztésekben, csak a szovjet rakéta és katonai repülőgép gyártás eredményei kevésbé voltak publikusak).

Például a holland TNO Prins Maurits Laboratorium, alumínium ötvözetből 2,7\*1,5 m-es panelt robbantott a Saturn V rakétához, és 1,8\*0,5 m-es hullám-alakban formázott panelt sugárhajtású repülőgépekhez (11. ábra). De készítettek titán ötvözetből helikopterhez csővéget, vagy sugárhajtású repülőgéphez ajtó-panelt is. [42][43]

<sup>20</sup> uo. Fig. 2 alapján

<sup>21</sup> Foto Lukács László, ImperialWar Museum, Duxford, Nagy-Britannia



11. ábra Alumínium ötvözet, hullám-alakzatra robbantott repülőgép panel<sup>22</sup>

A fejlesztések ma is folynak, melyet – befejezőként – egy példával igazolunk. Az ugyancsak holland 3D-Metal Forming cég, az R&D által folyó Airbus programban, robbantással kialakította a repülőgép pilótafülkéjének tetejét (lásd a 12. ábrát). A cég vezetője a fejlődést érzékelte elmondta, hogy amíg 2005-ben, maximum 15 mm vastagságú fémeket voltak képesek robbantással formálni, addig ma már a 0,3 mm-es alumíniumtól, a 6 cm-es vastagságú acéllemezig terjed a skála. Mindezt 10\*2 m-es méretig képesek előállítani. [44]



12. ábra Airbus robbantással formált pilótafülke-része [44]

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.

<sup>22</sup> Uo. Figure 7. alapján

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ALTING, L.: Hojfeffektform giving at metaller (Fémek robbantásos alakítása), Lyngby, Denmarks Tekn. Hojskloe, AMT, 1967. 16 p.
- [2] BABUL, W.: Odkształcanie metali wybuchem (Robbantásos fémalakítás), Warszawa, WNT, 1980. 378 p.
- [3] BERANEK, J.: Tváreni vybuchem (Robbantásos alakítás), Praha, Práce, 1964. 48 p.
- [4] BLAZYNSKI, T. Z. – SEWAILEM, M. R.: Air cushion effect int he explosive forming of metal sheet – L., E. F. Southend., 1969. 8 p. (Repr. The Engineer, Jan. 10. and 17. 1969.)
- [5] BLAZYNSKI, T. Z.: Scaling problems int he development of the free implosive forming of rootes blower impellers – Oxford, Pergamon Press, 1970. 15 p. (Repr. 10th Intern. Machine Toll Design and Res. Conf. Proceedings, 1969.)
- [6] BLAZYNSKI, T. Z. (ed.): The use of high-energy rate methods for forming, welding and compaction – Leeds, The University of Leeds, 1973. rep. p. (Papers presented at a confernce, 27-29. March, 1973.)
- [7] CZEGLÉDI, G.: A robbantásos lemezalakítás fejlesztésének újabb eredményei, Budapest, GTI, Gyártástechnológia, 1976. XVI. évf. 8. sz., pp. 369-371.
- [8] CZEGLÉDI, G. – GÖBL N.: Nagysebességű lemezalakító eljárások,- Budapest, GTI, Gyártástechnológia, 1972. XII. évf. 7-8. sz., pp. 329-335.
- [9] CZEGLÉDI, G.: Robbantásos illesztések, sajtólások, Budapest, 15. hazai építőipari robbantástechnikai konferencia előadásai, 1981. 3 o.
- [10] CZEGLÉDI, G.: Robbantásos fémalakítás minőségi értékelésének szakértői kérdései, Budapest, 3. Építőipari robbantástechnikai kollokvium, ÉTE, 1983. 2 o.
- [11] EGLY, N. S.: Explosions formgiving – Lingby, Danmarks Tekniske Hojskole, Afdelingen for Mekaniks Teknologi, 1970. 40 p.
- [12] ENHAMRE, E.: Effects of underwater explosions on elastic structures in water – S., AB. H. Lindstahls, 1954. 79 p. (Kungl. Tekniska Högskolans Handlingar serie No. 82.)
- [13] GRANSTRÖM, S. A.: Loading characteristics of air blasts from detonating charges – S. AB. H. Lindstahls, 1956, 93 p. (Kungl. Tekniska Högskolans Handlingar serie No. 100.)
- [14] Herstellung von Blechachstragkörpern getriebener Achsen für Kraftfahrzeuge unter Anwendung der Explosivumformung (Gépkocsi hátsó hidak robbantásos alakítása), Ludwigsfeld, VEB IFA. Automobilwerke, 1977. 10 o.
- [15] HOLTZMAN, A. H. – COWAN, G. R.: Bonding of metals with explosives – NY. Welding Res. Council, 1965. 21 p. (WRC Bulletin 104-Apr. 1965.)
- [16] HOLTZMAN, A. H. – COWAN, G. R.: Response of metals to high velocity deformation, Interscience Publ. New York, 1961. No. 4. pp. 447-456.
- [17] KRUPIN, A. V. – SZOLOVJOV, V. J. – SEFTEL, N. I. – KOBELJOV, A . G.: Deformácija metalov vzrivom, Metallurgia, Moszkva, 1975.
- [18] KUSZCZAK, A.: Wybrane zagadnienia tloczenia wybuchowego. Proba okreslenia współczynnika stateczności obrzeza (A robbantásos sajtolás különleges problémái. A szegélyállóság együtthatója meghatározásának kísérlete), Warszawa, Biul. IMP., 1965. ápr. szám, pp. 69-74.
- [19] DR. LUKÁCS László: A ZMNE Központi Könyvtár, Dr. Mueller Othmár Robbantástechnikai Különgyűjteménye, Műszaki Katonai Közlöny 2006/1-4. összevont szám, Budapest, pp. 135-142.
- [20] MALENTOVITZ, R.: Zastosowanie Metody tloczenia wybuchowego (A robbantásos sajtólási módszer alkalmazása), Biul. IMP, Warsawa, 1963. 4. sz. pp. 18-21.
- [21] MEYERS, Marc A. – MURR, Lawrence E.: Shock Waves anf High-Strain-Rate Phenomena is Metals, Plenum Press, New York and London, 1981. (szerkesztette EPSTEIN, G. N.: Udarnoe volni i javlenyija viszokoprocnoj deformácii metalov, Metalurg, Moszkva, 1984.)
- [22] MEYER, G. – SCHWALBE, M.: Anwendungsmöglichkeiten der Explosivum-formung (A robbantásos alakítás alkalmazási területei), NDK, Fertigungstechnik und Betrieb, 1970. 20 k., 3. sz. pp. 156-158.
- [23] MICO, A.: Une technique détonante de travail des métaux (Robbantásos fémalakítási módszerek), Paris, Industries et Techniques, 1973. 233. k. pp. 11-12.
- [24] DR. MUELLER, O. – MATYE Béláné: A robbantásos fémmegmunkálásra vonatkozó, az igazságügyi műszaki szakértői gyakorlatban felhasználható szakcikkek jegyzéke, Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet közleményei, 1984/8. szám, Budapest, 24 p.
- [25] DR. MUELLER Othmár.: A világ robbantástechnikai és ipari robbantóanyagokkal foglalkozó könyveinek és

- egyedi kiadványainak bibliográfiája 1850-1983. I. kötet, 5. átdolgozott kiadás, az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet 1983/1. sz. közleménye, pp 1-95.
- [26] DR. MUELLER Othmár.: A világ robbantástechnikai és ipari robbantóanyagokkal foglalkozó könyveinek és egyedi kiadványainak bibliográfiája 1850-1983. II. kötet, 5. átdolgozott kiadás, az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet 1984/2. sz. közleménye, pp. 96-209.
- [27] DR. MUELLER Othmár.: A világ robbantástechnikai és ipari robbantóanyagokkal foglalkozó könyveinek és egyedi kiadványainak bibliográfiája 1850-1983. III. kötet, 5. átdolgozott kiadás, az Igazságügyi Műszaki Szakértői Intézet 1984/10. sz. közleménye, pp. 210-335.
- [28] PIHTOVNYIKOV, R. V. – ZAVJALOVA, V. I.: Stampovka lictovova Metala vzrivom, Masinoszroenyie, Moszkva, 1964.
- [29] PRÜMMER, E.: Explosivbearbeitung von Werkstoffen (Fémek robbantásos megmunkálása), NSZK, Z. f. Werkstofftechnik, 1973. 4. k. 5. sz. pp. 236-243.
- [30] PEGOUD, J.: Mise en oeuvre des matériaux par explosion (Fémalakítás robbantással), Paris, Machine Moderne, 1973. okt. pp. 15-18.
- [31] PUSKÁS, J. – SZALAY, A.: Robbantásos csőalakítás és plattírozás a Villamosipari Kutató Intézetben, Budapest, 15. hazai építőipari robbantástechnikai konferencia előadásai, 1981. 1 o.
- [32] SÁRVÁRI Györgyné (ed.): Robbantástechnika ajánló bibliográfia, Országos Műszaki Könyvtár és Dokumentációs Központ, Könyvtári Igazgatóság, Budapest, 1973. 80 p.
- [33] SCHINNERLING, J.: Die Explosivformung – eine neue Verfahrenstechnik der Umformung (A robbantásos alakítás – új fémalakítási technika), NSZK, Werkstatt und Betrieb, 1971. 104. k. 3. sz., pp. 183-186.
- [34] SMRCKA, J. – VACLAVEK, M.: Explozivni tváreni plechi a trub ( Fémlemezek és csövek robbantásos alakítása) Praha, SNTL, 1964. 84 p. (Kinznice stroy. vyroby 100. k.)
- [35] SUSÁNSZKY Zoltán: Robbanóanyagok alakítják a fémeket, Budapest, Természet Világa, 1971. 10. sz. pp. 449-451.
- [36] SUSÁNSZKY Zoltán: Az energiairányítás a fémek robbantó alakításakor, Haditechnikai Szemle, Budapest, 1969. 3. sz. pp. 98-103.
- [37] SUSÁNSZKY, Z.: A robbantó mélyhúzás energiaközlési folyamatának műszeres vizsgálata – Budapest, BME, 1973. 135 p. (doktori értekezés)
- [38] SZAKURAI, T.: Baku-hacu kako (Robbantásos fémalakítás), Tokio, Nikkan Kogio Sinbunza, 1969. 143 p.
- [39] SZTEPANOV, V. G. – SZIPILIN, P. M. dr.: Gidrovzrivnaja stampirovka elementov szudovih konztrukcij (Hajószerkezetek robbantásos alakítása), Leningrád, Szudosztrojenie, 1960. p. 290.
- [40] DR. BOHUS, G. – HORVÁTH, L. – PAPP, J: Ipari robbantástechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [41] DAEHN, G. S.: High Velocity Metal Forming, ASM Handbook, Volume 14B, Metalworking: Sheet Forming, ASM International, 2006. pp. 405-418.
- [42] GHIZDAVU, V. – MARIN, N.: Explosive forming – economical technology for aerospace structures, INCAS BULLETIN, Volume 2, Number 4./2010., pp. 107-117.
- [43] MYNORS, D. J. – ZHANG, B.: Applications and capabilities of explosive forming, Journal of Material Processing Technology 125-126, 2002. pp. 1-25.
- [44] [www.3dmetalforming.com](http://www.3dmetalforming.com) (2012. 02.28.)
- [45] GROENEFELD, Hugo: New frontiers with explosive forming  
[http://www.aluminiumcentrum.nl/aluminiumcentrum.nl/files/Doc/Congres%202006/module%20d/3-Mr.\\_Hugo\\_Groeneveld.pdf](http://www.aluminiumcentrum.nl/aluminiumcentrum.nl/files/Doc/Congres%202006/module%20d/3-Mr._Hugo_Groeneveld.pdf) (2012.03.10.)



Dr. Lukács László<sup>1</sup> - Szalay András<sup>2</sup> - Dr. Zádor István<sup>3</sup>

## A REPÜLŐGÉPEK GYÁRTÁSÁNÁL ALKALMAZHATÓ KÉT- ÉS HÁROMRÉTEGŰ FÉMANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA ROBBANTÁSOS PLATTÍROZÁSSAL<sup>4</sup>

*A villamos ipar, a járműgyártás, a reaktortechnika sokféle különleges, többkomponenses anyagot és alkatrészt alkalmaz, így két- vagy többrétegű plattírozott fémlemezeket, szalagokat, huzalokat illetve alkatrészeket. A plattírozás két vagy több különböző anyagú fémlemez egyesítését jelenti. A plattírozott lemezek egyesítik az alkotó fémek jellegzetességeit, ezáltal lehetőséget adnak a gazdaságos és célirányos alkatrésztervezésre. A plattírozási technológiák egyike a robbantásos plattírozás. A robbantásos plattírozás energiaforrása a robbanóanyag, „szerszáma” a detonáció kiváltásával létrehozott nagy energiataralmú nyomáshullám. A publikáció ismerteti a robbantásos plattírozási technológia elvét és gyakorlatát, továbbá bemutat néhány repülőgép gyártási alkalmazást.*

### **PRODUCTION OF TWO- OR THREELAYERS METALLIC MATERIALS APPLICABLE AT MANUFACTURING OF AEROPLANES BY EXPLOSIVE CLADDING**

*The electrical industry, the vehicle production, the nuclear technique use many special multicomponent materials, and component part as two-or more layer cladded plates, sheets, wires and component parts. Cladding is the name of the process serving for bonding two or more metal with different material quality. One of the known cladding techniques is the explosive cladding. Explosive cladding is a solid state process in which controlled explosive detonations force two or more metals together at high pressures, resulting a high quality metallurgical bond between the colliding surfaces. The paper reports the theory and practice of the explosive cladding furthermore a few applications in the aircraft industry.*

## BEVEZETÉS

A villamosipar, a járműgyártás, a reaktortechnika sokféle különleges, többkomponenses anyagot és alkatrészt alkalmaz. Különleges többkomponenses anyagokon az alábbiakat értjük:

- két- vagy többrétegű plattírozott fémlemezek, szalagok, huzalok illetve alkatrészek;
- porokból illetve granulátumokból készített fém(ötvezet)-kerámia összetételű kompozit rudak, huzalok illetve alakos alkatrészek.

A fenti anyagkombinációk előállítására alkalmazott technológiák egy csoportját alkotják az ún. „nagy energiasebességű megmunkálások”. Ezen megmunkálásokat nemzetközileg elfogadott rövidítéssel HERF eljárásoknak nevezzük (High Energy Rate Formings). A HERF eljárások két speciális területe az elektromágneses és a robbantásos fémmegmunkálás.

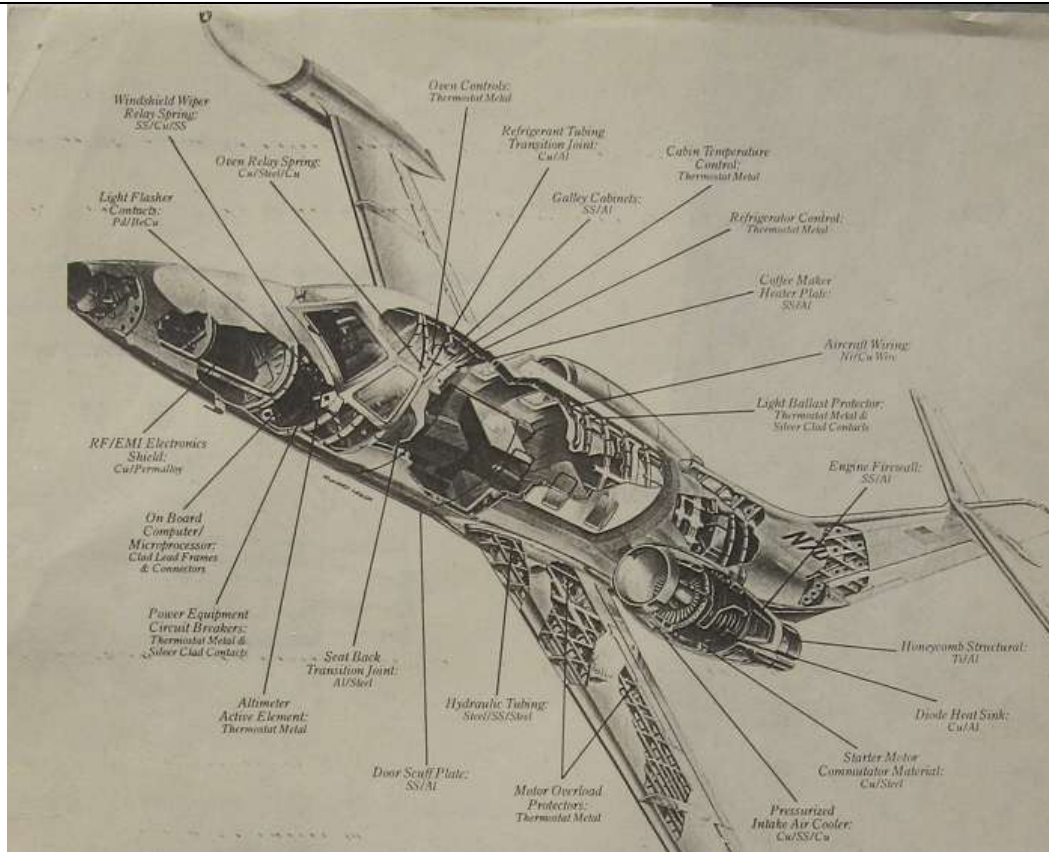
Mind a polgári mind a katonai repülés gépein sokféle két- és többkomponenses anyagot alkalmaznak.

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

<sup>2</sup> S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft, andras.szalay@smet.hu

<sup>3</sup> S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft, istvan.zador@smet.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán okl. mk. őrnagy, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem



1. ábra Repülőgépen alkalmazott többkomponenses plattírozott anyagok

Az 1. ábrán feltüntetett többkomponenses anyagok két- és háromrétegű plattírozott fémek, melyek közül példaként az alábbiakat emeljük ki:

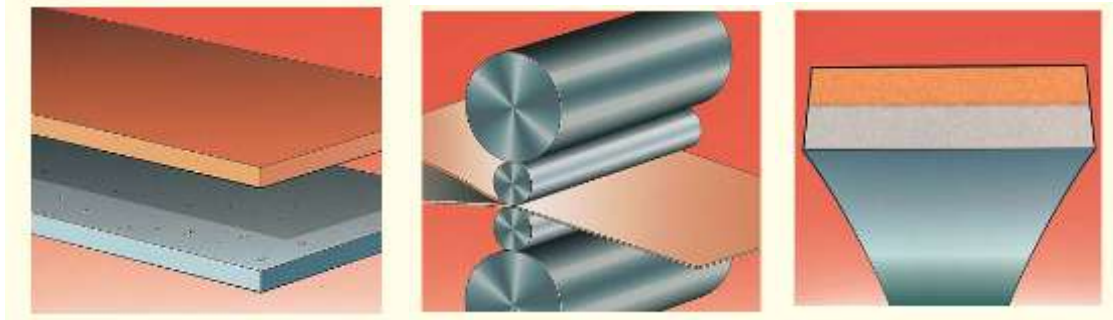
- motor túlterhelés védelem: termosztát fém (termo bimetal);
- hidraulika csövezés elemei: szénacél-rozsdamentes acél-szénacél;
- ajtó tömítő lemez: rozsdamentes acél-alumínium;
- üléstámla csatlakozó rész: alumínium-szénacél;
- magasságmérő aktív eleme: termosztát fém (termo bimetal);
- villamos megszakító: termosztát fém és ezüsttel bevont érintkező;
- villamos árnyékolás: réz-permalloy;
- fényjelző kontaktus: palládium-bronz;
- kemence kioldó rugó: réz-acél-réz;
- hűtőrendszer csövezéshez csatlakozó idomok: réz-alumínium.

A jelen publikációban a többrétegű fémek előállítási technológiáit mutatjuk be, ezek közül részletesen a robbantásos plattírozás elvét és gyakorlatát.

## PLATTÍROZÁS

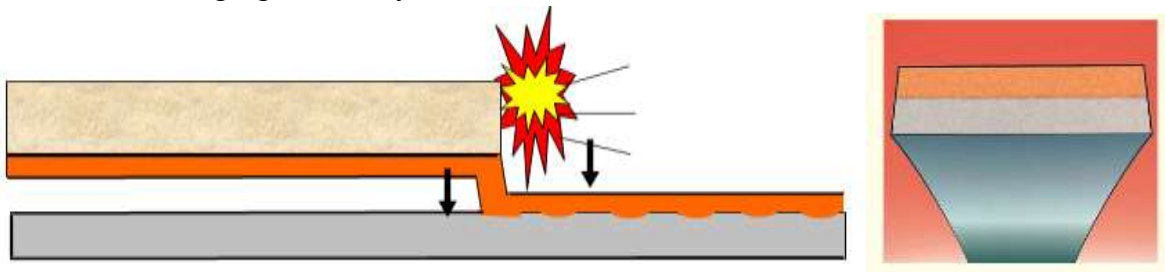
A plattírozás két vagy több különböző anyagú fémlemez egyesítését jelenti, pl. réz-alumínium, réz-acél, acél-alumínium, alumínium-acél-alumínium stb. kombinációkkal. A plattírozott lemezek egyesítik az alkotó fémek jellegzetességeit, ezáltal lehetőséget adnak a gazdaságos és célirányos alkatrésztervezésre.

- A hagyományosan *hengerléssel végzett plattírozás* alkalmazhatóságát korlátozza az a tény, hogy a kötendő fémek fizikai, mechanikai paraméterei nem lehetnek túlságosan eltérőek, továbbá, hogy a plattírozható lemezvastagságok aránya kötött.



2. ábra A hengerléssel végzett plattírozás elve

- A *robbantásos eljárás* a plattírozás korlátait feloldja: egyrészt igen eltérő képlékenységgű, olvadáspontú és hőtágulási együtthatójú fémek egyesítésére alkalmas, másrészt a kötendő lemezek vastagságának aránya is széles határok között változtatható.



3. ábra A robbantásos plattírozás elve



4. ábra A hengerléssel és a robbantásos plattírozás berendezései

## A ROBBANTÁSOS PLATTÍROZÁS ELVE

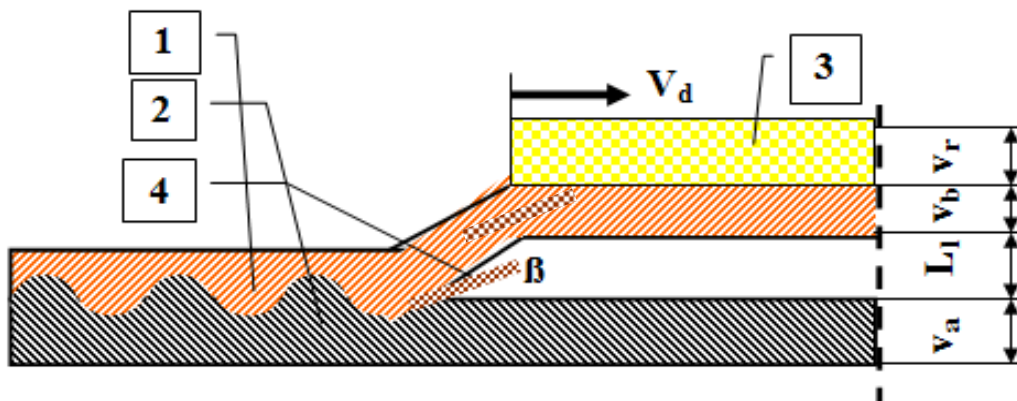
Azonos vagy eltérő anyagminőségű fémek felületi kötését lehet kialakítani oly módon, hogy a kötendő felületeket nagy sebességgel egymásnak ütköztetjük.

### A kötés kialakulásának mechanizmusa

A plattírozás energiaforrása a robbanóanyag, „szerszáma” a detonáció kiváltásával létrehozott nagy energiatartalmú nyomáshullám. A robbanóanyag detonációja állandó, reprodukálható sebességgel játszódik le. A keletkezett gázok nyomása:

$$p = V_d^2 \rho_0 (\rho - \rho_0) / \rho \quad (1)$$

Ahol  $V_d$  a robbanóanyag detonációsebessége,  $\rho_0$  a robbanóanyag sűrűsége,  $\rho$  a detonáció kiváltásával létrehozott gázok sűrűsége. A  $p$  nyomás értéke  $10^4 - 10^5$  bar nagyságrendű. Az eljárás alapelvét az 5. ábra szemlélteti. A robbanás iniciálása után a detonáció  $v_d$  sebességgel terjed a robbanóanyagban. A létrejött gáz halmazállapotú termékek nyomása nagy sebességgel terjed át az  $l_1$  jelű burkolólemezzel, - az ún. „repülőlemezzel” - ami néhány száz m/s sebességre gyorsul fel és az  $l_1$  „légrést” átrepülve a sebességtől, tömegtől, elrendezéstől függő  $\beta$  szögben csapódik rá az alaplemezzel.



5. ábra A robbantással plattírozott kötés kialakulása  
(1 – bevonólemez 2 – alaplemez 3 – robbanóanyag 4 – megolvadt fémsugár)

Az 1 bevonó lemez és a 2 alaplemez összecsapódásánál fellépő nagy nyomás miatt az alaplemez benyomódik és a benyomódás mellett kidudorodás jön létre. Ugyanakkor az összecsapódási zónából kifröccsen a megolvadt 4 fémsugár, ami az alaplemez és a bevonó lemez anyagából tevődik össze. A fémsugarat a folyamat előrehaladása során az alapfém kidudorodása fokozatosan eltéríti és a rácsapódó bevonó lemez bezárja. Ezután a becsapódási pont a kidudorodási pont tetejére tevődik át, majd az egész ciklus megismétlődik és jellegzetes hullámformájú kötés jön létre.



6. ábra Robbantással plattírozott alumínium-réz és acél-alumínium anyag kötési zónája (x50)

### A fémes kötés létrehozásának feltételei

Jó minőségű kötés létrehozása érdekében a technológia paramétereit úgy kell méretezni, hogy az összecsapódás pontjában a fémek képlékeny alakváltozása bekövetkezzék, de a létrejövő feszültségek a fémeket ne roncsolják. Ezek a feltételek a  $V_d$  detonációs sebesség és a  $V_\delta$  összecsapódási sebesség megfelelő értékével valamint a kötendő felületek tisztításával biztosíthatók.

### A $V_d$ detonációs sebesség hatása

A detonáció sebességével tovaterjedő nyomásimpulzus hatására a fémfelületen kialakuló feszültségek a detonáció sebességétől függően, különböző módon terjedhetnek a fém belseje felé:

- Hangsebesség alatti detonáció esetén ( $V_d < V_h$  ahol  $V_h$  a hangterjedési sebessége az adott fémbe), képlékeny alakváltozás alakul ki a felületen, amely elnyeli a robbanás során a fémbe közölt energia egy részét. A képlékeny alakváltozás csak bizonyos mélységig terjed a fém belseje felé. A fémbe továbbhaladó nyomáshullám  $V_d < V_h$  esetén nem veszélyes sem a fémre, sem a kötésre.
- Hangsebesség feletti detonációs sebesség esetén ( $V_d > V_h$ ), képlékeny alakváltozás nem alakul ki. Ekkor a fémbe erősen lokalizált lökéshullámok keletkeznek, melyek a fém megrongálódásához vezethetnek.

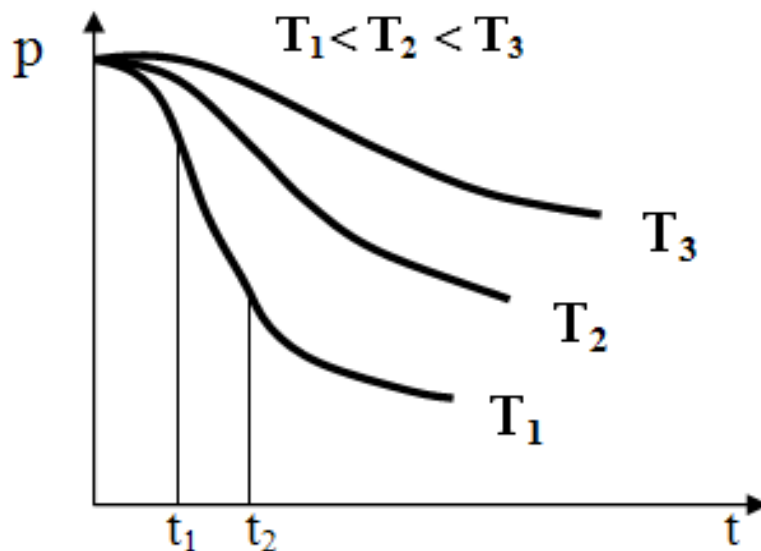
A sikeres plattírozás egyik feltétele tehát, hogy  $V_d / V_h$  kisebb legyen, mint 1.

### A $V_0$ összecsapódási sebesség hatása

A lemezek összecsapódásának pontjában kialakuló nyomást a repülő burkolólemez  $V_0$  sebessége határozza meg. A sebesség értékét a burkolólemezre ható erőimpulzusból lehet meghatározni:

$$J = \int_0^t p dt \quad (2)$$

ahol  $J$  a burkolólemez egységnyi felületére ható erőimpulzus,  $P$  a detonáció kiváltásával létrehozott gázok nyomása. A  $p$  nyomás nagysága a robbanóanyag paramétereitől függ, hatásának időtartama pedig a töltet vastagságával arányos (7. ábra).



7 ábra. A detonációs nyomás hatásának időtartama a töltetvastagság függvényében

A (2) egyenlettel leírt erőimpulzus nagysága egyenlő a 7. ábrán feltüntetett  $p=f(t)$  függvényen a megfelelő  $T$  töltetvastagsággal paraméterezett görbe alatti területtel. Az előzők figyelembevételével mondhatjuk, hogy végeredményben a burkolólemez felületegységére ható erőimpulzus:

$$J = kT\rho_0 \quad (3)$$

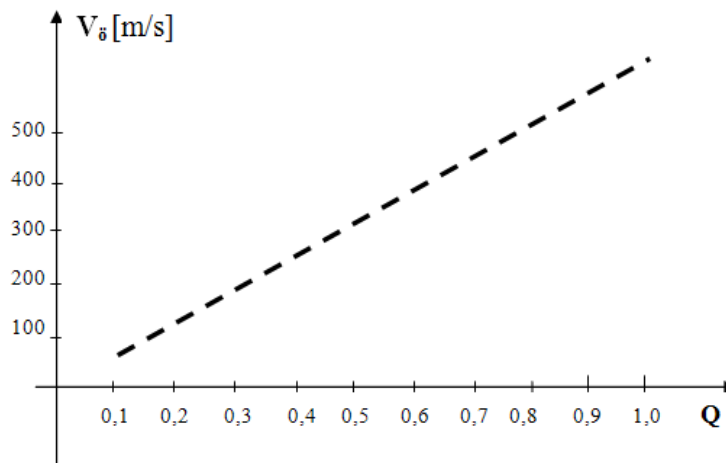
Ahol:  $k$  arányossági tényező,  $T$  a robbanótöltet vastagsága,  $\rho_0$  a robbanóanyag sűrűsége. Másrészt viszont:

$$J = m_b V_{\ddot{o}} = \rho_b l_b V_{\ddot{o}} \quad (4)$$

Ahol:  $m_b$  a burkolólemez egységnyi felületének tömege,  $\rho_b$  a burkolólemez sűrűsége,  $l_b$  a burkolólemez vastagsága. A (3) és (4) egyenletek egybevetéséből adódóan:

$$V_{\ddot{o}} = k \frac{T\rho_0}{l_b \rho_b} = kQ \quad (5)$$

Végeredményben tehát a burkolólemez sebessége az összecsapódás pontjában arányos a  $Q$  paraméterrel: a robbanóanyag és a burkolólemez tömegének arányával. A  $V_{\ddot{o}} - Q$  függvényt a 8. ábrán tüntettük fel.



8. ábra. Az összecsapódási sebesség és a tömegarány összefüggése

A  $V_{\ddot{o}}$  sebesség nagyságára természetesen hatással van az alaplemez és a burkolólemez közötti  $l_1$  távolság a „légrés”, ugyanis ahhoz, hogy a burkolólemez a becsapódásakor a megfelelő  $V_{\ddot{o}}$  értéket érje el, a lemezek robbantás előtti elrendezésénél biztosítani kell egy minimális távolságot. A megfelelő  $V_{\ddot{o}}$  érték tehát technológiailag a  $Q$  és az  $l_1$  paraméterek megfelelő megválasztásával biztosítható. A szakirodalom adatai valamint az általunk végzett munkák eredményei alapján:  $0,5 < Q < 1,5$  illetve  $0,5 L_b < L_1 < 1,6 l_b$

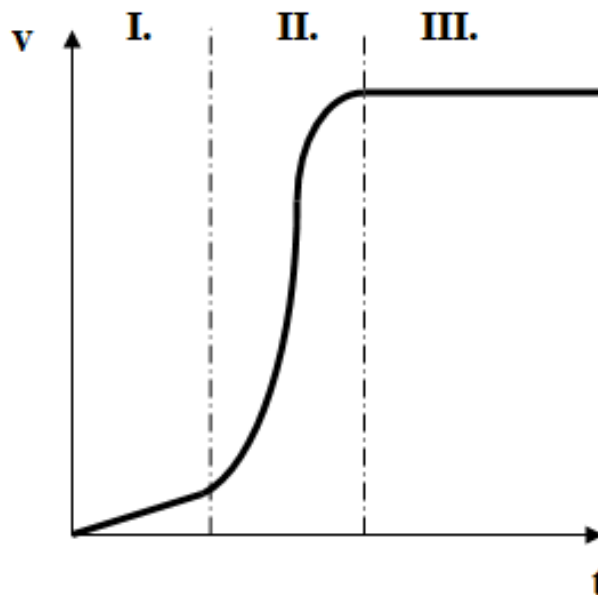
### A fémfelületek tisztasága

A plattírozandó felületeknek a művelet előtt fémtisztáknak kell lenniük, mert a szennyeződések káros hatását sem a megolvadt fémsugár, sem a becsapódáskor kialakuló együttes alakváltozás nem tudja ellensúlyozni.

A jó minőségű kötés létrehozása érdekében tehát a technológia alapparamétereit, azaz a  $V_d$  detonációsebességet, a  $V_r$  robbanóanyag rétegvastagságot, az  $L_1$  kiindulási lemeztávolságot a  $V_b$  bevonó lemez vastagságot, a  $V_a$  alaplemez vastagságát úgy kell méretezni, hogy az összecsapódás pontjában a fémek képlékeny alakváltozása bekövetkezzék, de a létrejövő feszültségek a fémeket ne roncsolják.

## A ROBBANTÁSOS PLATTÍROZÁS ENERGIAFORRÁSA: A ROBBANÓANYAG

A robbantásos plattírozási eljárások energiaforrása a vegyi robbanóanyag. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a robbanással és a robbanóanyagokkal kapcsolatos főbb fogalmakat. Robbanás: az energiaátalakulás időben és térben való koncentrációja. Ez az energiaátalakulás lehet vegyi reakció, atommaghasadás, fémhuzalnak nagy áramimpulzus hatására történő elgőzölgése, stb. A vegyi robbanóanyagok olyan kémiai rendszerek, melyek hőfejlődés és gázformájú reakciótermékek képződése közben alakulnak át. Az átalakulás három lényeges formáját különböztetjük meg. (9. ábra):



9. ábra Gyorsuló robbanási folyamat  
(I. égési szakasz - II. robbanási periódus - III. detonációs periódus)

Égés: viszonylag lassú, fokozatos átalakulás, mely helyi hőközlés hatására jön létre. Az égésfront néhány mm/s – 100 m/s sebességgel halad a robbanóanyagban.

Robbanás: közepes nagyságú (100 m/s – 1000 m/s), de nem stabil sebességgel haladó átalakulás. A robbanás helyén igen nagy a nyomásemelkedés.

Detonáció: igen nagy (1000 m/s – 10000 m/s) és egyenletes sebességgel haladó átalakulás, mely ütés, lökés hatására jön létre. A nyomás a detonációs frontban elérheti a  $10^5$  bart.

Az égés illetve a detonáció során felszabaduló energiák aránya kb. 1:4, a teljesítmények aránya  $1:10^7-10^8$ . A kétfajta átalakulás közötti különbséget szemlélteti a Nitroglíkol robbanóanyag példája:

- égés:  $C_2H_4(ONO_2)_2 = 2NO + 1,7 CO + 1,7 H_2O + 0,3CO_2 + 0,3H_2 + 460 \text{ cal/g}$ ;
- detonáció:  $C_2H_4(ONO_2)_2 = 2CO_2 + 2H_2O + N_2 + 1600 \text{ cal/g}$ .

A robbantásos megmunkálások alapja a detonáció kiváltásával elérhető nagy nyomás. A robbanóanyag detonációját villamos impulzussal váltjuk ki. A detonáció eredményeképpen hőfejlődés közben nagymennyiségű gáz képződik; ez jelentős térfogat növekedéssel jár, így a nyomás az adott térfogatban megnő. A robbanás teljes energiája:



$$E_t = E * m \quad (6)$$

Ahol  $E$  = a fajlagos robbanási energia (kJ/kg), az 1 kg tömegű robbanóanyag tökéletes átalakulása során felszabaduló hőmennyiség,  $M$  a robbanóanyag tömege. A keletkező gázok nyomása:

$$P = \frac{1}{4} \rho_0 D^2 \quad (7)$$

Ahol  $\rho_0$  a robbanóanyag sűrűsége,  $D$  a detonációsebesség. Az anyag megmunkálási technológiák tervezése szempontjából legfontosabb robbanóanyag paraméterek tehát:

- $E$  fajlagos robbanási energia;
- $D$  detonációsebesség;
- $V$  fajlagos gáztérfogat (1 kg tömegű robbanóanyag gáztermékeinek térfogata 1 bar nyomáson, 0 C<sup>0</sup> hőmérsékleten);
- $\rho_0$  sűrűség.

Az 1. táblázatban foglaltuk össze a leggyakrabban alkalmazott ipari robbanóanyagok legfontosabb jellemzőinek értékeit:

	Megnevezés	E kJ/kg	D m/s	V l/kg	$\rho_0$ g/cm <sup>3</sup>	Forma
1.	Paxit	4190	4000	960	1,01	poralakú
2.	TNT	5066	6900	620	1,47	préstest
3.	Nitropenta	5895	8400	780	1,77	műanyag zsinórba burkolt por

1. táblázat robbanóanyagok paraméterei

A robbanóanyag detonációjának kiváltásával létrehozott nyomást különféle közvetítő közegek (levegő, víz, homok, műanyag, stb.) segítségével juttatjuk el – „transzformáljuk” – az alakítandó anyaghoz. Tájékoztatásul közöljük az energia átadási hatásfokok mért arányát levegő, homok és víz nyomásközvetítők esetén:  $\eta_{\text{levegő}} : \eta_{\text{homok}} : \eta_{480} = 1 : 240 : 480$

## A ROBBANTÁSOS PLATTÍROZÁS GYAKORLATI KIVITELE

A technológiát a vörösréz-alumínium anyagpár kísérleti gyártásával mutatjuk be. A technológia fő lépéseit az alábbiakban foglaljuk össze:

*1. lépés:* A fémlemezek közül a vastagabb (példánk esetében az alumínium) kerül alulra: vagy közvetlenül a talajra, vagy a talajon elhelyezett kazánlemez alátétre (10. a. ábra).





10. ábra Robbantásos plattírozáshoz előkészített anyagok

2. lépés: A vékonyabb lemezt (példánk esetében a rézlemezt) egy adott távolságra helyezük el az alaplemez fölött. A rézlemezen helyezük el a műanyagból készített robbanóanyag tartályt (10. b. ábra).

3. lépés: A tartályban elhelyezzük a poralakú robbanóanyagot (11. a. ábra. ábra)

4. lépés: A robbanóanyagba helyezük a villamos gyutacsot (11. b. ábra)



11. ábra. A robbanóanyagok előkészítése

5. lépés: A villamos gyutaccsal felrobbantjuk a robbanóanyagot (12. ábra)



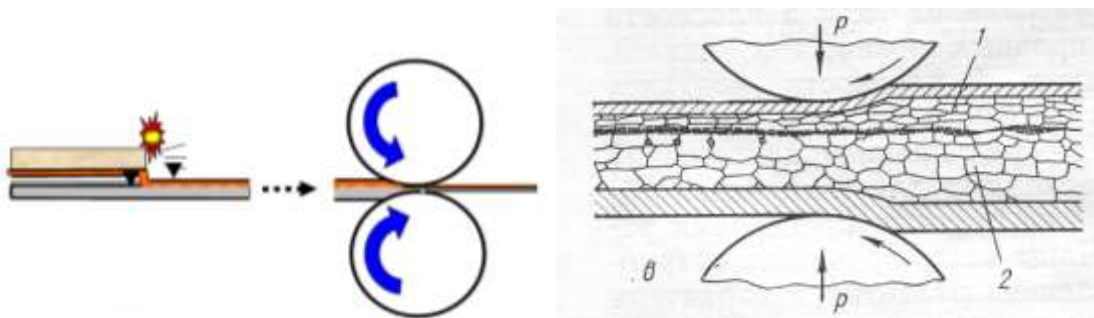
12. ábra Lőtéren végrehajtott robbantásos plattírozás

## A BIMETÁLOK MINŐSÍTÉSI KÖVETELMÉNYEINEK MEGHATÁROZÁSA

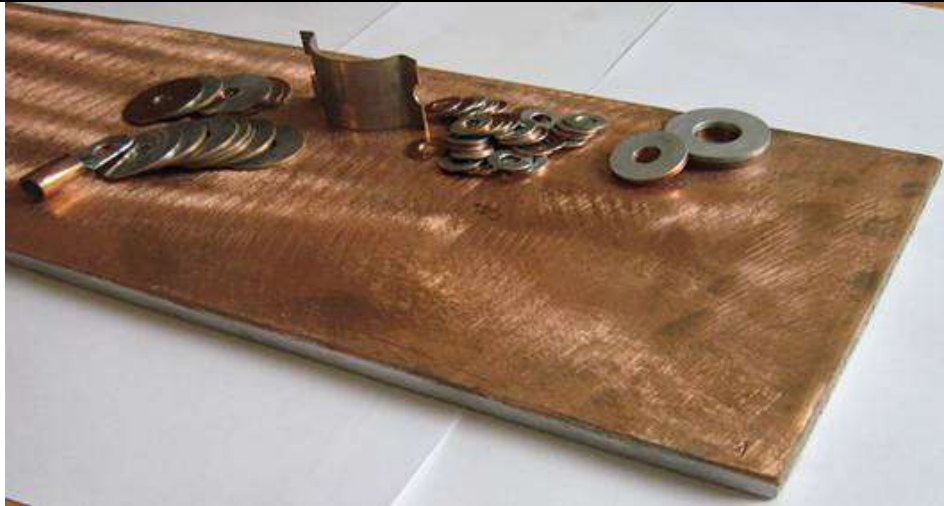
A plattírozott lemezek alapvető vizsgálatai a kötőszilárdság ellenőrzésére irányulnak. Ezen vizsgálatok:

- az ultrahangos vizsgálat;
- nyíróvizsgálat (AD 2000 Merkblatt W8);
- alapvizsgálat: PED 97/23 EC;

A robbantással plattírozott lemezek félkész termékek, további megmunkálást igényelnek. Ezen megmunkálás leggyakrabban a hengerlés, mellyel a plattírozott lemezeket a késztermék kívánt vastagságára hengerlik, egyúttal a felületminőséget javítják (13. ábra)



13. ábra A robbantással plattírozott anyagok továbbalakítása hengerléssel

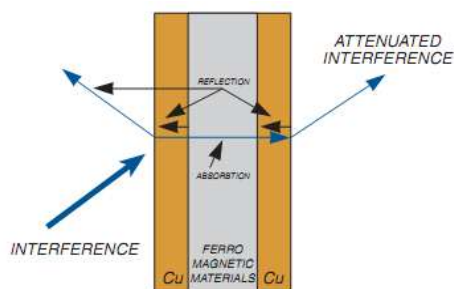


14. ábra Alumínium-réz plattírozott anyag és a belőle hengerelés után sajtolással készített alkatrészek

## ISMERT REPÜLŐGÉPIPARI ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

### Elektromágneses és rádiófrekvenciás árnyékolás

A réz jó villamos vezetőképességét és a ferromágneses anyag (acél) permeabilitását kombinálva kis súlyú, jó hatásfokú EMI védelmet nyújtó anyag készült (TI-Shield™).



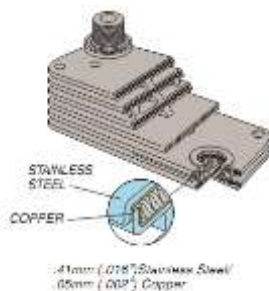
0.07mm (0.0028") Copper/0.21mm (0.0084")  
49 Permalloy/0.07mm (0.028") Copper



15. ábra A TI-Shield™ anyag működési elve és a magyar réz-acél anyagminta

### Forrasztott hőcserélő elemek

Az acélra plattírozott rézlemezek lehetővé teszik a folyasztószerek és egyéb adalékok nélküli, pontosan illeszthető forrasztások kivitelezését pl. hőcserélőknél.



16. ábra Repülőgép hőcserélőjénél alkalmazott acél-réz anyag és a magyar acél-réz anyagminta

## Termobimetál: érzékelő és beavatkozó elem

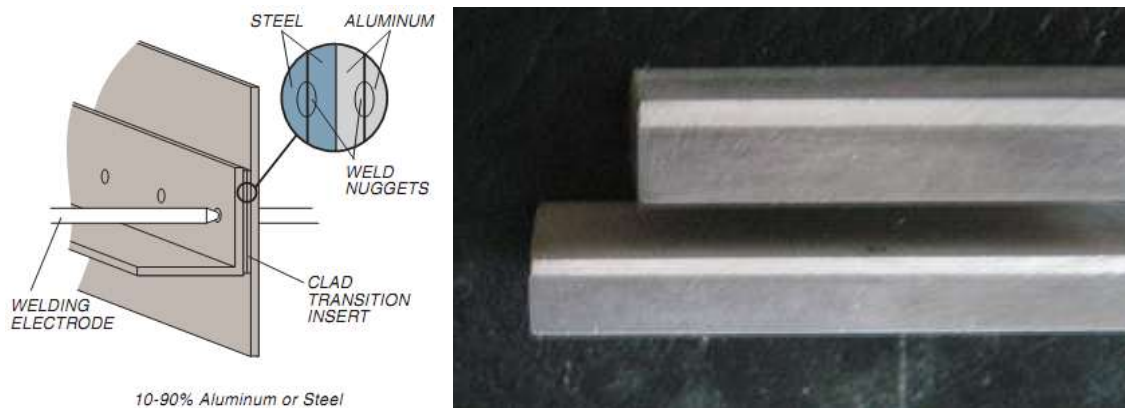
Invar és rézötvözet kombinációjú bimetal lemezt és alakos alkatrészt számos hidraulikai és villamos kapcsolásnál alkalmaznak.



17. ábra A termobimetál repülőgépi alkalmazásai és a magyar invar-sárgaréz anyagminta

## Alumínium és acél szerkezeti elemek hegesztését lehetővé tevő betétlemez

A hegesztendő acél és alumínium szerkezeti elemek közé egy robbantással plattírozott betétlemezt illesztve megoldható, hogy az acél az acélhoz, az alumínium az alumíniumhoz legyen hegesztve.



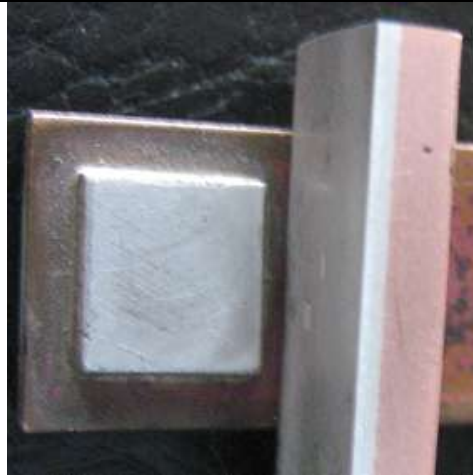
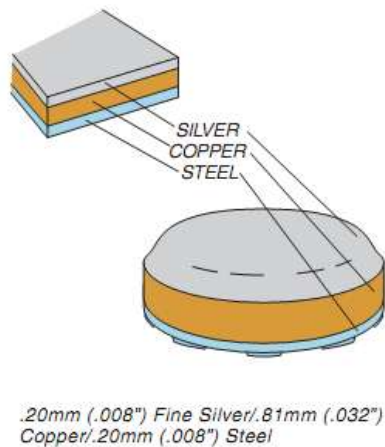
18. ábra Alumínium-acél közdarab alkalmazási példája



19. ábra Alumínium-acél közdarab alkalmazási példája és a magyar acél-alumínium illetve alumínium-acél-alumínium anyagminták

## Nemesfém-takarékos, jó hődisszipációt biztosító alkatrészek

Villamos alkatrészeknél a mechanikai szilárdságot az acél, a jó villamos- és hővezetőképességet az ezüst és réz kombinációja biztosítja. A két- és háromrétegű kialakítások lehetővé teszik, hogy ezüstöt csak a minimálisan szükséges mennyiségben kelljen alkalmazni.



20. ábra Plattírozott villamos érintkező és a magyar ezüst-réz villamos érintkező mintaanyagok

A cikk a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások című projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] www.emsclad.com, Clad metal from Engineered Materials Solutions
- [2] GELMAN, A.Sz., Sajtolóhegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [3] BAUM F.A. ORLENKO, L.P., SZTANJUKOVICS, K.P., CSELISEV, B.P., SEHTER, B.I. A robbanás fizikája, Moszkva, 1975.
- [4] GINSZTLER J.-HIDASI B.- DÉVÉNYI L. Alkalmazott anyagtudomány, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [5] S.M. ELASKARI, S.M., SZALAY A., PALOTÁS B., "A robbantásos hegesztés alkalmazása korrózióálló acélcsöveknél" Nemzetközi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2000. június 6.-9.
- [6] MAMALIS, A.G., SZALAY A., RÁTH T., Preparation of metal/metal and metal/ceramic component parts by explosive compaction 5th EFEE World Conference 26-28 April 2009, Budapest, Hungary
- [7] MAMALIS, A.G., SZALAY A., Fabrication of bimetallic rods by explosive cladding and warm extrusion, J. of Mat. Proc. Techn., v 83, 1 Nov 1998.
- [8] GULBIN, A.B. Thermobimetals mechanical properties produced by explosive welding with rolling, J. de Phys. IV, v 7 n 3, Aug 1997.



Dr. Csutorás Gábor<sup>1</sup>

## AZ UH-1N TÍPUSÚ HELIKOPTER BALESETI TŰZOLTÁS-MENTÉSÉNEK KÉRDÉSEI<sup>2</sup>

„A HM tájékoztatása szerint az amerikai haderő összesen 89 helikoptert von ki a hadrendjéből, amelyet ingyen vagy kedvezményes áron ajánlott fel a partnerországoknak. Mivel Magyarország a legmegbízhatóbb partnerek közé számít, ezért ingyen juthat a darabonként 5 millió dollárt érő gépekhez. Bár a tárgyalások még tartanak, jó eséllyel nemcsak ingyen, de teljesen felszerelve, sőt plusz alkatrészekkel együtt érkezhettek a helikopterek 2013-ban Magyarországra – tették hozzá. Az országnak egyedül a szállítás, a rendszerbe állítás és a legénység kiképzésének költségeit kell állnia, de az is lehet, hogy még ezeknek sem kell a teljes összegét kifizetni.”<sup>3</sup>

### CRASH FIRE-FIGHTING AND RESCUE ISSUES OF UH-1N

*The Ministry of Defense reported that the deployment of a few UH-1N helicopters, that had been withdrawn from the US system, would be possible in Hungary. Similarly to the former C-17 project, an element of preparation is examining protection, including fire and rescue protection. Considering ICAO, NATO STANAGs and national law I examine issues of fire and rescue protection regarding the new model. I analyse fire and rescue characteristics of the helicopter. I define the necessary fire and rescue capacity in case of an UH-1N accident, I draw a parallel with the current abilities and, if it is needed, I determine the required extent of capacity expansion. I make a proposal on usage and preparation of fire-rescue services.*

A sajtóközleményben megjelentek első olvasatra igazán kecsesgető ajánlatnak tűnnek.

A HM által nyújtott adatok alapján a helikopterek félidősek, tehát még átlag 8-9000 repült óra áll rendelkezésünkre, ez a jelenlegi üzemeltetési adatokat tekintve, körülbelül 25 év rendszerben tartást jelent. Szükséges megjegyezni, hogy a tűzoltó technikai eszközök, így a tűzoltó gépjárművek is szabvány szerint 20 évig üzemeltethetők. Tehát a C-17 program keretében 2009-ben beszerzett Panther típusú repülőtéri nagyteljesítményű tűzoltó gépjárművek előbb fognak búcsúzni a szolgálattól, mint a leendő, ma átlag 30 év feletti UH-1N helikopterek. Ebből azt a következtetést kell levonni, hogy tűzoltó- mentő szemszögből is a hosszabb üzemeltetés, biztosítására kell berendezkedni.

Örömmel gondolhatunk arra, hogy a Magyar Honvédség légierejében megint új repülőeszköz típus jelenik meg. A C-17 után, most egy új helikopter kerülhet rendszeresítésre. Ugyanúgy, mint Pápán a Globemaster III esetében, most is feladatok egész sora vár megoldásra, hogy ezt az új típust biztonságosan tudjuk üzemeltetni.

Az UH-1N projekt elkészítésekor nem csak a helikopter üzemeltetését, működtetését kell vizsgálni, hanem a repülőtéren minden szolgáltatásra történő kihatását. Ezt már az előbb említett esetben is megtapasztaltuk. Akkor abba a hibába estünk, hogy ezt nem vettük figyelembe.

1 ny. alez., csutoras@send.hu

2 Lektorálta: Dr. Restás Ágoston, egyetemi docens, mb. tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék, arestas@r-fire.hu

3 <http://archiv1988tol.mti.hu/Pages/HirSearch.aspx?Pmd=1>

Sajnálatos, hogy a beszerzésre vonatkozó miniszteri döntés előkészítés során ez elkerülte a szakemberek figyelmét.<sup>4</sup>

Az UH-1N üzemeltetéséhez szükséges összefüggések feltárásakor szembe fogunk találni a repülőtéren kiszolgáló, biztosító szolgálatokra, köztük a tűzoltó készenléti szolgálatokra gyakorolt hatásaival.

A továbbiakban ezeket a hatásokat fogom elemezni, mely során:

- az ICAO, a NATO STANAG-ek és a hazai jogszabályok figyelembevételével vizsgálom az új típus tűzoltó-mentő biztosításának kérdéseit;
- bemutatom az eszköz oltási-mentési sajátosságait;
- meghatározom egy UH-1N baleset során szükséges tűzoltó-mentő kapacitást; párhuzamot vonok a jelenlegi teljesítőképességgel, és amennyiben szükség van rá, megállapítom a kapacitás bővítés mértékét;
- javaslatot teszek a tűzoltó-mentő szolgálatok alkalmazására, felkészítésére.

## AZ UH-1N TŰZOLTÁS SZEMPONTJÁBÓL FONTOSABB MŰSZAKI ADATAI, AZ OLTÁS, MENTÉS SAJÁTÓSÁGAI

A repülőeszközök műszaki paramétereit az adott gép harcászati paraméterein, üzemeltetési lehetőségein, kiszolgálási időintervallumain és még sok más területen kívül a beavatkozó tűzoltó kapacitást, a beavatkozás (mentés és oltás) módját is meghatározzák.

Természetesen ehhez nincs szükség a teljes műszaki dokumentáció ismeretére.

A továbbiakban az UH-1N műszaki adataiból csak a baleset során a beavatkozó tűzoltó készenléti szolgálat feladatellátásához szükséges paramétereket tekintjük át.

Az UH-1N általános jellemzői, méretei

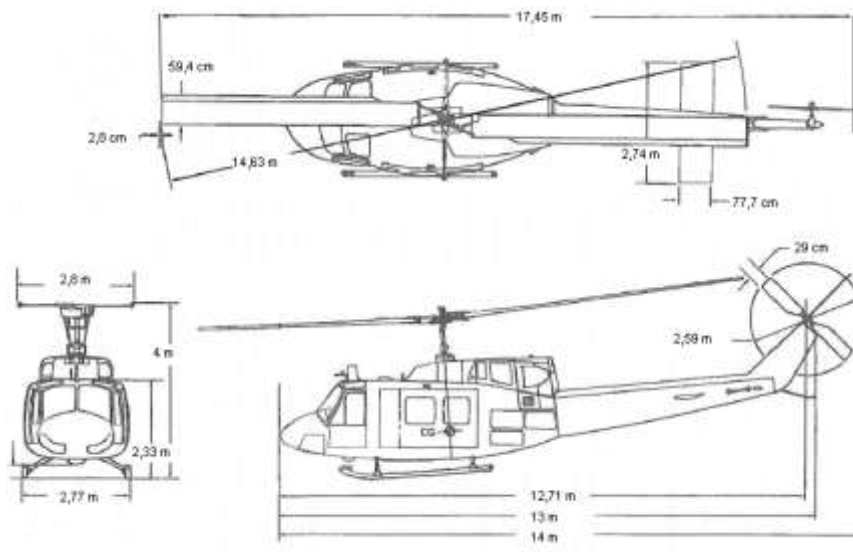
Személyzet	1-4 fő
Utassok	14 fő v. 6 hordágy
Teljes hossz	17,4 m
Magasság	4,4 m
Fő rotor átmérő	24,09 m
Max. felszálló tömeg	4310 kg
Maximális sebesség	220 km/h
Tüzelőanyag mennyiség	Max. 1735 kg

1. táblázat Az UH-1N fontosabb műszaki adatai

A személyzet létszáma és az utassok tényleges száma meghatározza a mentéshez szükséges erők és védősugarak mennyiségét.

<sup>4</sup> Honvédelmi miniszter 97/2011. (IX.2.) HM utasítása az U-1N helikopterek beszerzésével kapcsolatos miniszteri döntést előkészítő bizottság felállításáról és feladatairól.

A helikopter méretei azért lényegesek, mert az alapján kell kiszámítani a minimálisan szükséges oltóanyag mennyiségét, és befolyásolja a tűzoltás előkészítésének módját. A későbbiekben részletesen megmagyarázom, hogy miért fontos a teljes hossz.



1. ábra Az UH-1N fontosabb méretei

A főrotor átmérőjét figyelembe kell venni a helikopter járművel való megközelítések és befolyásolja a tűzoltó járművek működési helyének megválasztását.

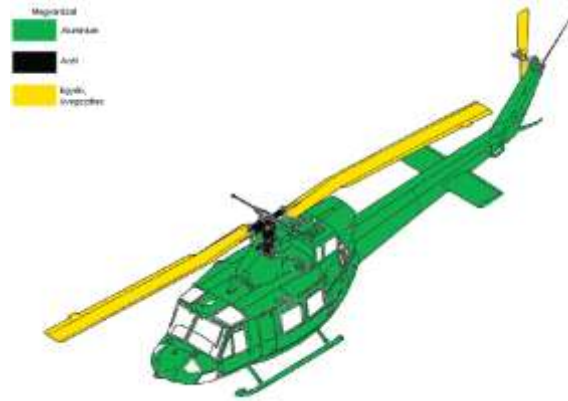
A helikopter által használt tüzelőanyag mennyisége befolyásolja a tűz kiterjedés maximális méretét, és nagy mennyiség kiömlésekor hatással lehet a mentés megszervezésére, kitolhatja a mentés megkezdésének idejét.

A fent felsorolt magyarázat nem teljes. A tűzoltás szempontjából fontos műszaki adatok repülőeszköz típusonként kiegészülhetnek. Például harci eszközök esetén függesztési pontok, fegyverzet, hordozott pusztító eszközök, bombák, tanker, vagy szállító gépek vonatkozásában a szállított üzemanyag mennyisége, veszélyes anyagok jelenléte a fedélzeten és még sorolhatnánk.

### Az UH-1N szerkezeti anyagai

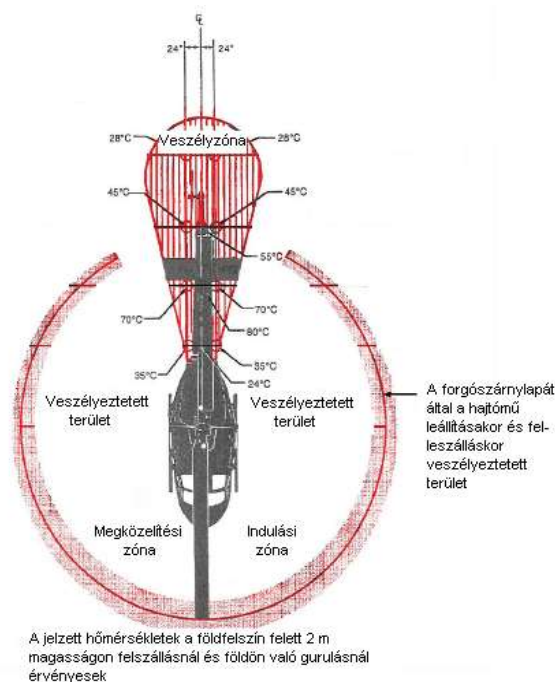
A szerkezeti anyagok ismeretére szükség van ahhoz, hogy helyesen válasszák meg az oltáshoz a leghatékonyabb oltóanyagot, dönteni tudjanak az oltástaktika megválasztásában. A szerkezeti anyagok fizikai, kémiai tulajdonságai befolyásolják az égésformákat. Az esetlegesen kialakuló fémtüzek oltásához nagyobb mennyiségű vízre van szükség, ami a korábban alkalmazott oltóhabot megtöri, ezáltal megnő a korábban eloltott tüzelőanyag újragyulladásának veszélye. A repülőeszköz szerkezetében kompozit anyagok jelenléte esetén az égés során mérgező gázok keletkeznek, ezért az oltásban és mentésben résztvevőknek zárt rendszerű légzőkészüléket kell viselniük egészségük megőrzése érdekében. Ezeken felül hatással vannak a bontási, erőszakos behatolási eljárások megválasztására.





2. ábra Az UH-1N szerkezeti anyagai

## A helikopter megközelítése



3. számú ábra: Az UH-1N veszélyzónái

Az eredményes beavatkozás érdekében a helikoptert a lehető legkisebb távolságra meg kell közelíteni a tüzoltó gépjárművekkel úgy, hogy azok monitorai, illetve szerelt sugarai a gép teljes törzsére egyidejűleg tudjanak hatni, mert csak így lehet hatékonyan oltani. Ezen felül a balesetet szenvedett, kigyulladt gép helyzetétől függetlenül az oltósugarak irányának meghatározásakor a szélirányt is figyelembe kell venni. A szél iránya, a tűz terjedési irányát is befolyásolja, ezért a mentés irányát is széllel szemben kell kijelölni. A behatolást előkészítő és behatoló állománynak, a mentést végrehajtóknak, a fentiekén kívül a hajtómű szívó oldali hatását, torló nyomását és hőmérsékletét is figyelembe kell venniük a gép megközelítésénél.

Harci repülőgépek esetén a pusztító eszközök, fegyverzet is befolyásolja a megközelítés irányát. Levegővel töltött ballonnal szerelt futóművel rendelkező helikopter futómű tüze esetén fel kell készülni a nagy hőmérséklet okozta nyomás hatására szétrobbanó abroncsok szétrepü-

ló alkatrészei által okozott sérülések elkerülésére. A sérültek és a közvetett életveszélyben lévők géptől történő mozgását is védősugarakkal kell biztosítani.

## Behatolás

Repülőeszközökbe a behatolást elsősorban a személyzetek és utasok kimenekítése, kimentése céljából végezzük. A behatolásnak két módja van. A szabályos behatolás, amikor a gépbe természetes úton az ajtókon keresztül jutunk be. Ha a baleset során az ajtók és rámpák nem nyithatók, vagy deformálódtak, esetleg hozzáférhetetlenek, akkor erőszakos módon kell behatolnunk. Azonban ebben az esetben is elsősorban ezeket a „nyílásokat” kell felhasználnunk a bejutáshoz. Amikor nincs más mód, a sárkányszerkezet meghatározott, arra alkalmas részein kell vágást ejtenünk, ami biztosítja a törzsbe való bejutást.

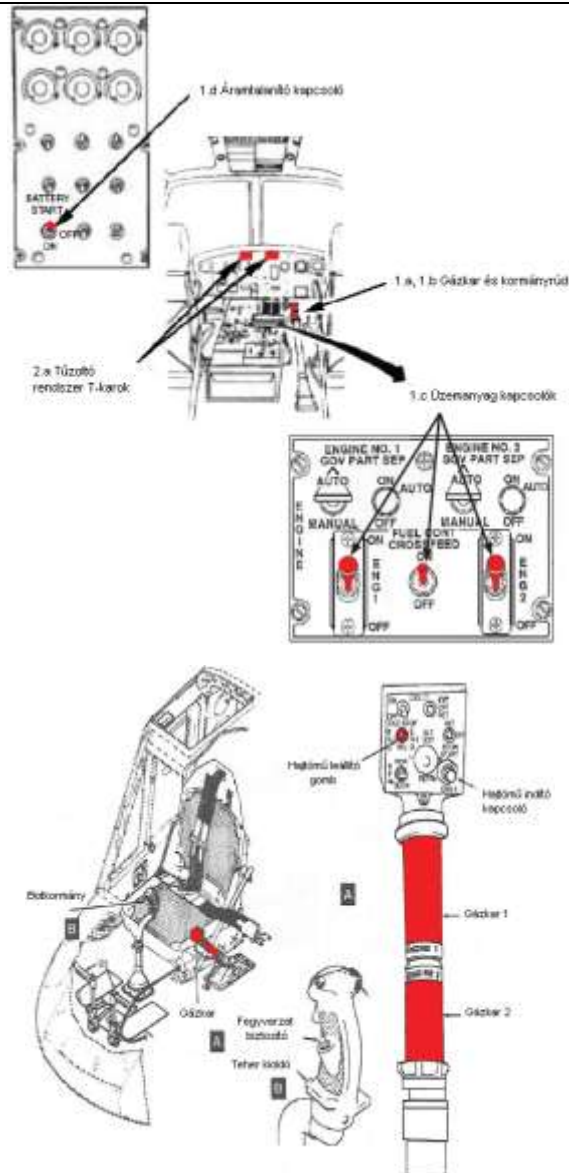
Az UH-1N-be történő szabályos bejutás a gép mindkét oldalán megtalálható személyzeti ajtón lévő fogantyú az óramutató járásával megegyező irányba való elfordítása után az ajtó kinyitásával történik. A törzs két oldalán lévő utastér-raktérajtókat a fogantyú meghúzásával és az ajtó eltolásával lehet nyitni. Egyébként a csuklópántos ajtók csuklópánt tengelyét el lehet távolítani, vagy az utastér-raktér ajtó nyitása után a személyzeti ajtót belülről kilinccsel lehet nyitni. A személyzeti ajtók kívül, belül kilinccsel van ellátva a normál körülmények közötti nyitáshoz. A személyzeti ajtók kívülről, belülről ledobhatók. Az ajtók repülés előtt eltávolíthatók. A raktérajtókon is kívül, belül kilinccsek találhatók a normál körülmények közötti nyitáshoz. A helikopter repülhet zárt, nyitott ajtókkal, vagy ajtók nélkül.

Az erőszakos behatoláshoz a személyzeti ajtó ablakát kell betörni, vagy vágni. Ezután az ablakon benyúlva az ajtó elején található vésznyitó fogantyú hátrafelé mozdításával az ajtó ledobható.

## Hajtómű leállítása

A hajtómű működése, valamint a forgószárnyak mozgása gyakorlatilag lehetetlenné teszi a keletkezett tűz oltását. Helikopter baleset során gyakran előfordul, hogy a hajózó személyzet akadályoztatva van a hajtóművek leállításában, forgószárnyak megfékezésében. Ilyenkor szükség lehet arra, hogy a kiképzett beavatkozó tűzoltók végezzék el ezeket a műveleteket.

A hajtómű leállításához az egyesített gázkaron lévő hajtómű leállító gombot kell lekapcsolni. (1. a) Ezután az egyesített gázkaron 5 másodpercen belül a gázkart, (gázkarokat) „OFF” állásba kell fordítani. (A)



4. ábra Az UH-1N hajtómű leállítása, áramtalanítása

Az üzemanyag elzárásához a középső megemelt konzolon az összes kapcsolót „OFF” állásba kell kapcsolni.(1.c) A helikopter áramtalanítása a fej fölött lévő kapcsoló táblán az áramtalanítókapcsoló „OFF” állásba való kapcsolásával történik.(1. d)

### Személyek mentése

A sérült, magatehetetlen, közvetlen életveszélyben lévők kiemelése előtt az ülések biztonsági hevedereit kell oldani. A gépszemélyzet ülései biztonsági övvel vannak ellátva. Az utasok ülései csak derék övekkel rendelkeznek.

A pilótán és segédpilótán a gyorskioldó kar segítségével lehet kikapcsolni és távolítani a biztonsági övet. A kiemelést megkönnyíti, ha az ülések alatt található piros kar lefelé való meghúzásával az ülést hátra döntik. Az ülések nagyon könnyen mozgathatók.

Az utasok derékövekkel vannak csatlakoztatva, amelyek minden gépen egyformák. Az övet a biztosító csat megemelésével lehet lecsatlakoztatni.

A fejezetben megpróbáltam érzékeltetni, hogy melyek azok a minimálisan szükséges ismeretek, amivel a készenléti tűzoltó állománynak rendelkeznie kell az eredményes beavatkozás érdekében. Az ismertett követelmények koránt sem teljeseek. Nem szóltam a beavatkozó állományt veszélyeztető rendszerekről (oxigénrendszer, hidraulikarendszer, radar, fegyverzet, üzemanyagrendszer stb.) amelyek nem ismerete lehetetlenné teszi az eredményes beavatkozást. Még egyszer szeretném hangsúlyozni, hogy mint ahogy nincs két egyforma repülőeszköz típus, ugyanúgy nincs két egyforma baleset, tűz sem. A készenléti tűzoltó állománynak mindig e két „tűz” között kell a lehető legrövidebb idő alatt, a lehető legkisebb veszélyeztetéssel, a legkisebb kárral megoldani feladatait.

## AZ UH-1N ÁLTAL HASZNÁLT LESZÁLLÓHELY TŰZOLTÓ BIZTOSÍTÁSI KÖVTELMÉNYEI

A heliporton biztosítandó tűzoltó kapacitást a helikopter teljes hossza<sup>5</sup> és a törzs maximális szélessége határozza meg. A helikopter leszállóhelyeket a helikopterek méretei alapján három kategóriába sorolják. A kategóriák adatait az 1. számú táblázat mutatja.

Helikopter leszállóhely kategória	A helikopter teljes hossza (m)	A géptörzs szélessége (m)	Gyakorlati kritikus terület (m <sup>2</sup> )
H-1	0<15,2m	0<1,53m	34,8m <sup>2</sup>
H-2	15,2<24,4m	1,53<2,13m	78m <sup>2</sup>
H-3	24,4<36,6m	2,13<2,43m	133,8m <sup>2</sup>

2. táblázat Helikopter leszállóhely kategóriák

A táblázat adatai alapján, ismerve az UH-1N típusú helikopter méreteit, megállapíthatjuk, hogy a H-1 kategóriába tartozik.

A tűzoltó kapacitás meghatározásának alapja a kritikus terület elve.<sup>6</sup> Egy helikopter baleset során a tűz oltása elsősorban erre a területre kell, hogy kiterjedjen. Tehát a légijárművet teljes hosszában meg kell védeni az égéstől. Helikopterek tekintetében a kritikus területet a helikopter teljes hossza és a gép törzsének maximális szélessége alapján kell kiszámítani. Egy helikopter baleset következtében keletkezett tűz oltás módjának megválasztásakor, az oltóanyag szükséglet kiszámításakor a tűzoltás taktikájának kialakításakor a tűzoltásvezetőnek, tűzoltó készenléti váltásparancsnoknak a kritikus területet kell figyelembe vennie.

Csak ezen ismeret birtokában képes felmérni a rendelkezésre álló időt, meghatározni az oltáshoz szükséges oltóanyagot, tud hatékonyan gazdálkodni az oltóanyaggal és csak ezek alapján képes a mentés rendjének meghatározására. A helikopter kategóriáknak megfelelő kritikus terület alapján számított tűzoltó kapacitással kell rendelkezünk a heliporton, hogy eredményesen tudjunk beavatkozni és a bajbajutott utasokat, személyzetet biztonságosan ki tudjuk menteni.

<sup>5</sup> **Helikopter teljes hossza:** A törzs elé nyúló forgószárny lapát végétől a fark tartó mögé kinyúló légszárny lapát végéig

<sup>6</sup> **Kritikus terület:** Egy repülőgép tűz esetén nem a tűz teljes lokalizálása és eloltása a cél, hanem meg kell elégednünk a törzs szerkezeti egységének a megóvása és a gépben tartózkodók számára az elviselhető feltételek megteremtésével.

Az UH-1N típusú helikoptereket a Magyar honvédség korábbi eljárásainak megfelelően várhatóan két féle leszállóhelyről fogják alkalmazni.

Az egyik alkalmazási mód az állandó leszállóhelyről<sup>7</sup> történő alkalmazás. Hazánkban a helikoptereket jelenleg repülőtérről működtetjük. Kiepipített szilárd burkolatú leszállóhelyek és gurulóutak, valamint a repülőtér teljes irányító, biztosító és kiszolgáló személyzete rendelkezésre áll.

A másik alkalmazási mód, az ideiglenes leszállóhelyről<sup>8</sup> történő alkalmazás. Ebben az esetben az irányító, biztosító, kiszolgáló csoportok, szolgálatok csak részben, vagy egészen kis kapacitásban elérhetők.

A Magyar Honvédségben elterjedteken felül a helikopterek alkalmazásának több fajtáját is ismerjük (emelt szinten létesített helikopter leszállóhely, helideck, felszíni helikopter repülőtér stb.) azonban a jelenleg rendszeresített helikopter típusokon az utóbbiakból nem szereztünk tapasztalatokat.

Az általunk alkalmazott leszállóhely változatokon a helikopterek működése, mozgása, kiszolgálása nem egyforma, mint ahogy az a fogalmuk értelmezéséből is adódik. A két fajta leszállóhely tűzveszélyessége eltérő. Következésképpen a megvalósítandó tűzoltó biztosítás, teljesítőképesség is különbözik. Más teljesítményű tűzoltó készenléti erőket kell működtetni az állandó leszállóhelyeken, mint az ideiglenes leszállóhelyeken.

### Állandó leszállóhely

A 2. és 3. számú táblázat megmutatják, hogy állandó jellegű leszállóhelyen, a H-1 kategóriába tartozó, tehát az UH-1N helikopter működtetéséhez milyen kapacitású tűzoltó erőket kell készenlétben tartani.

Helikopter leszállóhely kategória	Szintetikus filmképző hab	
	Víz (liter)	Kibocsátás sebessége (liter/perc)
H-1	1508	225

3. táblázat Állandó jellegű leszállóhely

H-1	Tűzoltók létszáma	Tűzoltógépjárművek száma
Helikopterek száma a földön		
1-12	4	1
13 vagy több	6	2

4. táblázat Állandó jellegű leszállóhely

<sup>7</sup> **Állandó leszállóhely (Heliport):** Repülőtér, vagy egy építmény meghatározott részén kialakított leszállóhely, amelyet teljes egészében, vagy részben forgószárnyas légi járművek érkezésére, indulására és felszíni mozgására kívánnak használni. ICAO ANNEX 14/II. Repülőtér: Heliport 1. fejezet 1.1 Meghatározások

<sup>8</sup> **Ideiglenes leszállóhely (Temporary Landing Site):** A kevesebb, mint 30 napon keresztül használt leszállóhely, ahonnan kevesebb, mint 10 művelet történik naponta. (NFPA 418 Standards for Heliports 1.3.16)

A táblázatok adatait összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az UH-1N típusú helikopterek állandó leszállóhelyről történő üzemeltetéséhez szükséges tűzoltó kapacitás a következő:

- UH-1N helikoptert befogadó heliport esetén 6 fő beavatkozó tűzoltó +1 fő tűzoltásvezető;
- 2 db repülőtéren tűzoltó gépjármű;
- A tűzoltáshoz szükséges oltóhab előállításához 1508 liter víz és szintetikus habképző anyag a járművekre málházva;
- A minimum 225 liter/perc oltóanyag kijuttatási sebességet biztosító habágyú, vagy gyorsbeavatkozó, illetve sugárcső.

### Ideiglenes leszállóhely

Most nézzük meg, az UH-1N helikopterek ideiglenes leszállóhelyről való működtetéséhez szükséges tűzoltó kapacitást.

Helikopter leszállóhely kategória	Tűzoltó készülékek mennyisége
H-1	2db 6 kg-os ABC porraloltó

5. táblázat Ideiglenes leszállóhely

Ideiglenes leszállóhelyen tehát nincs szükség tűzoltó készenléti szolgálatra, tűzoltó gépjárművekre. A biztosításhoz szükséges tűzoltó eszközök az üzemeltető alegység készletében megtalálhatók.

Felhívom a figyelmet, hogy az ideiglenes leszállóhely fogalma nem téveszthető össze a közbeeső leszállóhellyel. A közbeeső leszállóhely célrendeltetésű leszállóhelynek minősül, ugyanúgy, mint a leszállóhely. Ezeket a leszállóhelyeket általában harctevékenységek során alkalmazzák és viszonylag rövid ideig funkcionálnak. Előkészítettségük, berendezettségük a környezet és helyzet függvényében alakul. Itt történhet a helikopterek harcfeladatra való felkészítése, ismételt előkészítése, ami üzemanyaggal, pusztító eszközökkel való feltöltést, időszakos karbantartási, javítási munkák elvégzését jelenti. Ezért ezeken a leszállóhelyeken tekintet nélkül a működtetés időszakára, felszállások számára, az állandó leszállóhelyre vonatkozó tűzoltó biztosítási követelmények érvényesek.

Tehát az állandó leszállóhelyeken, illetve a közbeeső leszállóhelyeken gyakorlatilag ugyanazon kapacitású tűzoltó biztosításra van szükség. Ezek a leszállóhelyek igénylik a beavatkozás szempontjából a már leírt mértékeknek megfelelő legmagasabb fokú tűzoltó teljesítőképességet. A Magyar Honvédségben jelenleg két helikopter alaptípus teljesít szolgálatot. A Mi-8, illetve a Mi-24 változatai. Ezek a helikopterek méreteiket tekintve felülmúlják az UH-1N-t. Mindkét típus a H-2 tűzvédelmi kategóriába tartozik. A kategóriának megfelelő előírt tűzoltó készenléti szolgálat teljesítőképessége is nagyobb az UH-1N által megkívántaknál. Ennek tükrében megállapíthatjuk, hogy a Magyar Honvédség által működtetett katonai repülőterek rendelkeznek az UH-1N típusú helikopterhez szükséges, a hazai és nemzetközi jogszabályokban előírt tűzoltó biztosítási képességekkel.



## A TŰZOLTÓ-MENTŐ SZOLGÁLATOK FELKÉSZÍTÉSE AZ ÚJ TÍPUSRA

Repülőtereinken egy új géptípus üzemeltetése, vagy rendszerbeállása megköveteli a hajózó, valamint a repülőtéri szakszemélyzetek felkészítését az üzemeltetésre.

Ezt erősíti a STANAG 7145,<sup>9</sup> melynek előírása alapján a repülőtéri tűzoltóknak ismeretekkel kell rendelkeznie a NATO összes repülőgép típusának oltási mentési eljárásait illetően. Ezen túlmenően a repülőtéren jellemző és onnan esetlegesen üzemelő repülőeszközök vonatkozásában gyakorlottnak kell lennie a típus oltásában és az életmentésben. Esetünkben ez azt jelenti, hogy egy esetleges UH-1N helikopter baleset során a tűzoltó készenléti szolgálatnak képesnek kell lennie arra, hogy a bajbajutott gépszemélyzetet és az utasokat időben kimentsék és túlélésüket biztosítsák. Ezt a feladatot csak akkor tudják eredményesen végrehajtani, ha megfelelő ismeretekkel rendelkeznek a helikoptert illetően, valamint az eszköz rendszeresítési eljárásával párhuzamosan számukra a géptípusra jellemző egyedi baleseti tűzoltási, mentési ismereteket elsajátították. A típus ismerete nélkül, valamint kellő begyakorlottság hiányában nincs, vagy csak elenyésző esély mutatkozik, a bajbajutott személyzetek, utasok mentésére, helikopter baleset során.

Mivel katonai tűzoltóink megfelelő előképzettséggel rendelkeznek a repülőtéri speciális tűzoltó-mentő tanfolyam (volt ZMNE szervezésében Szolnokon) jóvoltából, a rendszeresített repülőeszközökből történő mentés és oltás terén, a kiképzés nem időigényes.

Gyakorlatilag egy úgynevezett típusátképzéssel megoldható. A képzés során meg kell ismerkedniük az UH-1N tűzoltó szempontból fontos paramétereivel, a gép megközelítésének szabályaival, a sárkányszerkezet, a hajtómű, a futómű tűz oltásának speciális szabályaival, a gépbe történő szabályos és erőszakos behatolás módjaival, speciális fogásaival, a hajtómű leállításának lehetőségeivel, a gép áramtalanításának szabályaival és fogásaival. Be kell gyakorolniuk a személyzet és utasok kimentésének minden részletét, a biztonsági előírások betartásával. A kiképzés (átképzés) előzetes számítások alapján 2-3 nap alatt lebonyolítható, erőforrásigénye alacsony.

A felkészítésnek, kiképzésnek mind elméleti, mint pedig gyakorlati síkon meg kell történnie. Az eredményes vizsga letétele után a készenlétbe vezényelt váltások továbbra is eleget tudnak tenni a jogszabályokban megfogalmazott előírásoknak.

### ÖSSZEFOGLALVA

Új technikai eszközök, technológiák rendszerbe állítása során vizsgálni kell, a nemzeti sajátosságok, lehetőségek figyelembevételével az új eszköznek a meglévő, vagy felállítandó rendszer egészére gyakorolt hatását. Ennek során nem csak az eszközt üzemeltető, technológiát közvetlenül alkalmazó területeket kell figyelembe venni, hanem a rendszert, mint komplex egészet kell kezelni.

Az UH-1N típusú helikopter rendszeresítése a repülőtéri tűzoltó- mentő készenléti szolgálatokra is kihatással van. A tűzoltó biztosítás megtervezésekor, a géptípusra előírt, jogszabály-

---

<sup>9</sup> STANAG 7145 Minimum NATO CFR Core Competency Levels for Fire Fighters (Aircraft Rescue and Fire Fighting)

okban megfogalmazott mennyiségű és típusú oltóanyagot, tűzoltó technikai eszközöket, meghatározott kapacitású járművet és a biztonságos beavatkozást biztosító létszámú tűzoltó készenléti szolgálatot kell készenlétben tartani.

A repülőeszköz tűzének oltási sajátosságai, az égő gép megközelítése, az oltástaktika a jelenleg rendszeresített típusoktól eltérő. A gépbe történő behatolás módjai, a mentés megkezdése előtt végrehajtandó feladatok a személyzetek és utasok mentésének fogásai speciálisak, a repülőtéren tűzoltó állomány előtt még ismeretlenek.

Az UH-1N helikopter típus rendszeresítése (alkalmazásba vétele) a már meglévő tűzoltó kapacitáson felül nem igényel újabb erőforrásokat, amennyiben azok a jelenleg működő katonai repülőtereink egyikén kerülnek elhelyezésre.

Azonban elkerülhetetlenül szükség van, a repülőtéren tűzoltó-mentő állomány az új típusnak megfelelő kiképzésére. A képzést a műszaki és hajózó állomány felkészítése előtt, de minimum velük párhuzamosan kell végrehajtani. A teljes repülőtéren tűzoltó állomány felkészítése és vizsgáztatása nélkül nem kezdhető meg az új típusú helikopterek üzemeltetése.

Végezetül a repülőtéren tűzoltó állománynak az UH-1N a típusra való felkészítési programjának kidolgozása, a képzés tervezése és végrehajtása terén felajánlom szakmai ismereteim és tapasztalataim hasznosítását.

Az 1-4. számú ábra forrása: Aircraft Emergency Rescue information (Fire protection) TO 00-105E-9

A 2-5. számú táblázatok az MSZ K 1123: Katonai repülőterek tűzvédelme (2005) nyomán készültek.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] MSZ K 1123: Katonai repülőterek tűzvédelme (2005)
- [2] ICAO ANNEX 14/II. Repülőterek: Heliport
- [3] NFPA 418 Standards for Heliports
- [4] ICAO-doc 9137/AN/898 Airport Services Manual, part 1 Rescue and Fire Fighting
- [5] Csutorás Gábor: Helikopter leszállóhelyek tűzvédelme (Repüléstudományi közlemények 2009/2 különszám)
- [6] STANAG 3712 Airfield Rescue and Fire-Fighting (ARFF) Services Identification Categories (Edition 6)
- [7] TO 00-105E-9 Aircraft Emergency Rescue information (Fire protection)



Kós György<sup>1</sup> – Dr. Komjáthy László<sup>2</sup>

## ERDŐTÜZEK HELIKOPTERES OLTÁSA<sup>3</sup>

*Légi tűzoltásnak nevezzük, a repülőgépek és a egyéb légi eszközökkel történő tűzoltást. E folyamat során merev és forgósárnyas gépeket egyaránt használnak. Helikopteres tűzoltás alatt közvetlenül a helikopterből történő ill. a helikopter által a helyszínre szállított eszközökkel történő tűzoltást értjük. A helikopterek jelentik a nagy kiterjedésű erdőtüzek elsődleges beavatkozó erejét, különösen a földi egységek számára nehezen megközelíthető helyek esetén.*

### **HELITACK IN WILDLAND FIREFIGHTING<sup>4</sup>**

*Aerial firefighting is the use of aircraft and other aerial resources to combat wildfires. The types of aircraft used include fixed-wing aircraft and helicopters. Helitack refers to "helicopter-delivered fire resources", and is the system of managing and using helicopters and their crews to perform aerial firefighting and other firefighting duties, primarily initial attack on wildfires. Helitack crews are used to attack a wildfire and gain early control of it, especially when inaccessibility would make it difficult or impossible for ground crews to respond in the same amount of time.*

## BEVEZETŐ

### **Környezeti tényezők, erdőtűz veszélyeztetettség**

A világban mutatkozó környezettudatos tendenciák és az élhetőbb környezet iránti igény hazánkban is egyre inkább a figyelem középpontjába kerül. Ennek a folyamatnak a egyik sarkalatos pontja az erdők mentő és megelőző tűzvédelme, biztosítva, hogy az erdők el tudják látni nyersanyagtermelő, üdülési, környezet-, természet-, és egészségvédelmi funkcióit. Az erdei tűzkárok évi kb. 50–300 ezer m<sup>3</sup> fatérfogat kiesést okozhatnak és a világban mutatkozó tendenciák alapján fel kell készülnünk rá, hogy ez az adat nőni fog. Az utóbbi években, évtizedekben egyre nagyobb, egyre pusztítóbb, nem ritkán emberéleteket követelő erdőtüzek alakultak ki. Ennek elsődleges kiváltó oka a klímaváltozás. A XX. században a hőmérséklet növekedés nagyobb volt, mint az elmúlt ezer év bármely évszázadában. Az éghajlat-változási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) adatai szerint a levegő földközeli átlaghőmérséklete 1905 és 2005 között  $0,74 \pm 0,18$  °C-kal nőtt meg. Majdnem az összes szárazföldi területen csökkent a fagyos napok száma. A nyári aszályok kialakulásának gyakorisága és súlyossága is nőtt. Ennek következményeként folyamatosan változnak az erdőtárusítások összetételei is. Fontos megjegyezni, hogy a hazai erdőtüzek kialakulásának 98%-ért az emberi tevékenység a felelős. A gondatlanság mellett gyakori a szándékos gyújtogatás is. Ezen körülmények újabb kihívások elé állítják a tűzoltó szakmát, szükségessé téve a folyamatos kutatásokat, új eljárások és technikák

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar gyuree86@hotmail.hu

<sup>2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet komjathy.laszlo@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Lektorálta: Dr. Restás Ágoston, egyetemi docens, mb. tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék, arestas@r-fire.hu

<sup>4</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial\\_firefighting](http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_firefighting) (letöltés ideje: 2012. 03. 20.)

kifejlesztését. Ez adja az aktualitását, hogy megvizsgáljuk a szerte a világban már napi gyakorlatként alkalmazott légi tűzoltás hazai helyzetét és lehetséges fejlesztési irányait.

A magyarországi erdőtüzek történetében a mai napig meghatározó jelentőséggel bír a 2007. július 25-30. között bekövetkezett Jánoshalma-Kunfehértó-Kéleshalom térségében bekövetkezett tüzeset. 2007. július 27-én délelőtt 10:30 kor Kiskunhalas határában elterülő magánerdőből érkezett az első tűzjelzés a Kiskunhalasi Hivatásos Önkormányzati Tűzoltóság ügyeletére. A nagy erejű szélnek köszönhetően 13:00-ra a tűz elérte a Kunfehértó határában elterülő állami erdőt, ahol már a KEFAG Zrt. Császártöltési erdészetének dolgozói kármegelőző tevékenységet folytattak, azonban nem sikerült gátat vetni a lángoknak. A káresetben összesen közel 241,5 ha állami tulajdonú erdő és további 858,5 ha magánerdő égett le. A teljes 241,5 ha leégett állami erdőterületből csak mintegy 24,2 ha az, ami valószínűleg önmagától képes regenerálódni, a fennmaradó 217,3 hektáron pótlás szükséges.

## A KELETKEZETT KÁRÉRTÉK ÉS KÖLTSÉGEK ÖSSZETÉTELE<sup>5</sup>

### Tűzoltás, tűzország költségei

A tűz oltása és az azt követő helyszínbiztosítás (tűzország) alatt az erdészet saját erőforrások mellett külső vállalkozók munkáját is igénybe vette.

Ennek részletezése az alábbi:

- védőital (ásványvíz): 38 eFt;
- üzemanyag (saját gépbe): 176 eFt;
- kenőanyag (saját gépbe): 9 eFt;
- vásárolt gépi szolgáltatás (helikopter és traktor): 7 051 eFt;
- vállalkozói díj (tűzoltás közbeni fadöntés, tűzország): 1 041 eFt;
- fizikai bér + járulékok: 123 eFt;
- személyi jell. egyéb kif. (saját gk. használat): 58 eFt;
- összesen 8 496 eFt.

A fentiek alapján tehát a közvetlen tűzoltás és további kár megelőzésének költsége összesen 8496 eFt.

### Faállományban keletkezett kár értéke

#### *A megsemmisült állomány tüzesetkori értéke*

Az érintett állományok között nem volt 2007. évben véghasználatra tervezett, ezért a befejezett állományok esetében a megsemmisült állomány tüzesetkori értékét az állomány hozadéki értékének kiszámításával határoztuk meg, a

$$\text{HozadékiÉrték} = \frac{V_f}{1,0p^{f-k}} + \frac{B_q \cdot 1,0p^{f-q}}{1,0p^{f-k}}$$

<sup>5</sup> KEFAG Zrt. Jánoshalma-Kunfehértó-Kéleshalom Erdőtűz 2007. július 25-30. Kárértékszámítás (Kecskemét, 2007.08.02.)

képlet segítségével, ahol:

- $V_f$  = fahasználati költségekkel csökkentett árbevétel a véghasználati korban;
- $p = 3\%$ ;
- $f$  = vágáskor;
- $k$  = állomány kora;
- $q$  = előhasználat éve.

A faállomány üzemtervi vágásérettségi korára prognosztizálható fatérfogatát, 10 évnél alacsonyabb vágásérettségi mutató esetén az üzemtervi fatérfogat folyó-növedékesítésével határoztuk meg, 10 évnél magasabb vágásérettségi mutató esetén pedig a fatermőképesség segítségével.

A befejezetlen állományok esetében azok költségértékét vettük alapul a kárérték kiszámításánál:

- 2 éves állományok esetében egységesen 450 eFt/ha;
- 3 éves állományok esetében egységesen 534 eFt/ha értékkel;
- az így számított tüzeset előtti állományérték 163 938 eFt.

#### ***A megsemmisült állomány tüzeset utáni értéke***

A megsemmisült állomány a tüzeset után kizárólag hőerőművi energetikai hasznosításra volt alkalmas. Az állományérték meghatározása a kitermelési érték szerint történt,  $3000 \text{ Ft/m}^3$  átlagos kitermelési költséget és  $5000 \text{ Ft/m}^3$ -es tő melletti értékesítési árat feltételezve (a fenyő-lágy tűzifa piaci árának 15%-os csökkentésével meghatározott ár). Az így számított tüzeset utáni állományérték 57 137 eFt.

A három héttel korábban bekövetkezett balotaszállási erdőtűz esetében a tényleges piaci érték a fenti módszerrel számított érték 75%-a. Ezt alapul véve a tüzeset utáni állományérték 42 853 eFt. A faállományban keletkezett kár értéke a tüzeset előtti faállomány érték és a tüzeset utáni állományérték különbözete, vagyis:  $163\,938 \text{ eFt} - 42\,853 \text{ eFt} = 121\,085 \text{ eFt}$ .

#### **Rekonstrukció várható költségei**

Az egyes évekre vonatkozó költségterv készítésénél elsődleges szempontnak tartottuk a tűzkár mielőbbi felszámolását, ezért 2007-ben terveztük a terület letakarítását, talajelőkészítését és a mesterséges lomb felújítás első kiviteleit, 2008 tavaszára pedig a fenyő első kiviteleket. Ennek megvalósítását a rendelkezésre álló gépkapacitás, a beszerezhető csemete mennyisége és az őszi-tavaszi időjárás egyaránt nagymértékben befolyásolta, így a tényleges ütemezés ettől jelentősen eltért. A terület egy részének első kiviteli felújítása a feszített munka ellenére is a 2008. ősz – 2009. tavaszi szezonra tolódott.

Az érintett területen található lomb állományok, melyek egy részének sarjasztatása a helyszíni szemle alapján lehetséges, mesterséges felújításuk csak a sarjasztatás sikertelensége esetén szükséges. Ezeket az állományokat sarjasztásra terveztük, a többit mesterséges felújításra.

Mesterséges felújítás esetén a célállománytípus megválasztása során (a rendelkezésre álló idő rövidsége miatt korrekt termőhely-feltárást nem lehetett végezni) két szempontot vettünk figyelembe:

- előző (leégett) állománytípus;
- a területen - termőhelyi viszonyoktól függetlenül – kb. 800 méterenként 50 méter szé-

les lomb védősávot terveztünk.

A rekonstrukció költségtervénel a 2006. évi tény fajlagos költségekből képeztük, annak 10%-os emelésével.

Ennek alapján a rekonstrukció költsége 2007-es kalkulált árákon összesen 113 477 eFt.

### **Biztosító által fizetendő kártérítés**

A Gazdálkodó a tűzzel érintett területen rendelkezett érvényes, tüzesetre is kiterjedő biztosítással, a biztosító által nyújtott kártérítés összege enyhítette a gazdálkodó kárát.

A biztosítási szerződés a fizetendő kártérítés mértékét 60 eFt /ha-ban maximalizálta, a korábbi (balotaszállási) tüzeset példája alapján 55 ezer Ft/ha kártérítéssel számolhattunk, azaz valószínűsíthetően a kártérítés összege 13 282 eFt.

A 2007. július 25-30. közötti, Jánoshalma, Kéleshalom és Kunfehértó községhatárokon keletkezett erdőtűz során felmerült összes kár a következőképpen határozható meg:

- tűzoltás, helyszínbiztosítás költsége: 8,5 millió Ft;
- faállományban keletkezett kár: 121 millió Ft;
- rekonstrukció költsége: 113,5 millió Ft;
- biztosító által fizetendő kártérítés: -13 millió Ft;
- mindösszesen: 230 millió Ft.

A Gazdálkodót ért kár tehát összesen 230 millió Ft-ban, azaz kettőszázharminc millió forintban határozható meg, melyet a kialakuló keresleti csemete piac árfelhajtó hatása, és a hatóság által várhatóan előírt megtakarítások növelnek.

## **TŰZOLTÁS LÉGI TÁMOGATÁSA**

Magyarország területének 21%-át, azaz kétmillió hektárt borít erdő, melyben az erdőtüzek 99 százaléka emberi gondatlanság vagy szándékosság miatt keletkezik. Hazánkban 2006-ben összesen 227 erdőtüzet regisztráltak. Ez havonta közel 19 esetet jelent, ami kb. másfél napon ta jelent egy tüzesetet. Ez a szám riasztóan magas, főleg ha figyelembe vesszük az előbb említett 99%-os adatot az emberi gondatlanságról.

Ez a szám ez elmúlt években nem változott jelentősen, hanem a korábbinál forróbb nyarakon a tűz terjedésének sebessége és intenzitása változott. Így esetenként jóval nehezebb őket eloltani, és jóval nagyobb területet érinthetnek, mint korábban.

Tanulmányok és persze a valóság is azt bizonyítja, hogy ha az előző év X. XI. és XII. hónapja csapadékban és hőmérsékletben átlagon aluli, akkor már szinte kijelenthetjük, hogy a II. III. és IV. hónapban nagyobb valószínűséggel fog keletkezni erdőtűz, illetve kiemelt figyelmet kell fordítani az erdőségek védelmére. Ezek a hónapok kritikusan erdőtűzveszélyes hónapok. A közvetlen tűzveszély csak májusban csökken, hiszen általában ez a hónap már jóval csapadékosabb az előzőeknél. Az úgynevezett „szárazsági index” - a csapadék és a levegő párolgató képességének ismeretében

számítható - segítségével még könnyebben megállapíthatjuk, melyek is a veszélyesebb időszakok.<sup>6</sup>

Mint tudjuk, bolygónk felmelegedése és a klímaváltozás következtében fokozottan számolnunk kell a 2007 júliusában bekövetkezett, nagy kiterjedésű és jelentős anyagi kárral járó kár-  
esetek kialakulásával. Be kell látni, hogy a vegetáció tüzek oltása sajátos körülményeket te-  
remt, speciális igényeket támasztva a beavatkozó egységekkel szemben, úgy a bevetett tech-  
nikák, mint a személyi állomány tekintetében. A gépjárművek és technikai felszerelésük nem  
elsősorban az oltást segítik elő, hanem az oltószemélyzet szállítását, az oltószemélyzet eszkö-  
zeinek és ellátásának biztosítását szolgálják. Víz erdőkbe történő bejuttatására szárazföldi  
járművekkel nagyon csekély a lehetőség.

A gépjárművek bevetésénél figyelembe kell vennünk a terepviszonyokat. Sík vidéken vagy  
dombos, hegyes erdőtüzet kell-e oltani. Mindkettőnél a talaj-, a terepviszonyok adottságai  
nagy mértékben befolyásolják a bevethetőségüket. A tűzoltóságnál rendszeresített gépjármű-  
fecskenők, különleges szerek erdőtűz oltására hatékonyan csak ritkán vethetők be. Tudomá-  
sul kell venni azt, hogy azok a gépjárműfecskenők, amelyek a technikai fejlesztés követke-  
ztében beszerzésre kerültek, nem mind alkalmasak erdőtűz oltására. Nem azért, mert nincse-  
nek megfelelő tűzoltó-technikai felszereléssel felmálházva, hanem mert a terepviszonyok  
adottsága miatt bevethetőségük nem lehetséges. A síkvidéki területen az úgynevezett humu-  
szos futóhomokban nemcsak a gépjárművek süllyednek el, de még az emberi járás is nehéz-  
kes. A dombos, hegyes tájakon a gépjárműfecskenők bevethetősége az emelkedők, a sűrűn  
benőtt utak illetve a vízfolyások által kimosott, sokszor méteres mélységű árkok miatt lehetet-  
len. Gépjárműfecskenők erdőtűznél történő bevetése csak az erdők közvetlen szélén, illetve  
az utak mentén lehetséges, de a bevetésnél mindig figyelembe kell venni a technika biztonsá-  
gos működtetését.<sup>7</sup> Belátható, hogy a speciális oltási környezetnek és a kor követelményeinek  
megfelelően lassan elengedhetetlenné válik nálunk is a légi támogatás alkalmazása. Tekintet-  
tel a mai integrált katasztrófavédelmi rendszerre és a tüzek mellet felmerülő egyéb környezeti  
katasztrófák kialakulásának növekvő gyakoriságára, nem lehetséges és nem is ésszerű kizáró-  
lag csak tűzoltó feladatkörben üzemeltetni ilyen jellegű gépeket.

A hazai káresetek jellegét és gyakoriságát figyelembe véve a helikopterek többcélú felhasz-  
nálhatóságuk folytán kihasználtsági és hatékonysági szempontból előnyösebb tulajdonságok-  
kal rendelkeznek a merevszárnyú repülőgépekkel szemben.

Egy kellően felszerelt és kiképzett személyzettel ellátott, készenlétet adó helikopter a vegetá-  
ció tüzeinek oltása mellett alkalmas lehet:

- légi felderítésre;
- csarnok jellegű épületek tüzeinek oltására;
- ipari és környezeti katasztrófák kárfelszámolására;
- kutató-mentő feladatokra;
- vízi és jégről mentésre;

---

6 Dr. Komjáthy László- Répásy Péter- Az erdőtűzek kialakulásának körülményei és oltásának taktikai lehetősé-  
gei (Repüléstudományi Konferencia 2008)

7 Dr. Komjáthy László The challenges of extinguishing forest fires (DELTA IV évfolyam:(8. szám) pp. 3-5.  
2010)

- egészségügyi mentésre;
- nehezen megközelíthető ill. távol eső helyeken történő műszaki mentésre;
- magasból mentésre;
- árvízi védekezés támogatására.

## Helikopteres tűzoltás

A helikopteres tűzoltást HELITACK- nek nevezzük, mely kifejezést először a 1956-ban a Los Angeles Times használja. A szó az angol Helicopter (helikopter) és az attack (roham, támadás) kifejezés összevonásából született meg. A légi tűzoltás az USA-ban, Kanadában és az egykori Szovjetunióban kezdett kialakulni.

## HAZAI VISZONYOK

Jelen pillanatban az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság nem rendelkezik ember vezette repülő eszközzel. 1990-es évek végén a hajózóképzés megszüntetésével a honvédségi Mil Mi-2 típusokat folyamatosan kivonták a rendszerből. Ennek következményeként a Légi Mentő Szolgálat mellett a Katasztrófavédelem is hozzájutott átalakított példányokhoz. 2002. augusztus 19.-én azonban légi felderítés közben Sződliget és Felsőgöd között műszaki hiba miatt kényszerleszállást hajtott végre a katasztrófavédelem egyetlen működőképes Mi-2 -es helikoptere és ezzel légi potenciálja nullára csökkent. Jelen pillanatban a helikopteres tűzoltás kizárólag a honvédség 8 db Mi-8 és Mi-9, illetve 7 db Mi-17 közepes szállító helikopterével, valamint vállalkozók bevonásával oldható meg.

## Alkalmazási módok

A helikopteres tűzoltásban az elsőként és ma is legelterjedtebben alkalmazott technológia az ún. bambi bucket. A bambi bucket-et 1982-ben fejlesztette ki a kanadai Don Arney mérnök és a SEI INDUSTRIES, mely cég jelenleg is a világ vezető gyártója. A bambi bucket megjelölés mára egyébként fogalommá vált és nem csak a SEI INDUSTRIES termékeire használják. A technológia lényege, hogy a helikopter aljához huzalon rögzítik a vászon vagy nejlon tartályt. A tartály töltése úgy történik, hogy a helikopter nagy vízfelület felett függeszkedve „meríti meg” majd a kárhelyre érve egy, a bambi bucket alján található nyíláson üríti ki. A külső függő teher miatt romlik a helikopter manőverező képessége, ill. az ürítést követően az üresen lógó bambi bucket mintegy „fékezőernyő” akadályozza a helikoptert a szabad mozgásában. Problémát jelent továbbá, hogy a megtöltéséhez kellő kiterjedésű és megfelelő mélységű természetes vízfelület szükséges. Ennek hiányában a szükséges a káreset közelében a bambi bucket térfogatánál többszörösen nagyobb mobil medencét telepíteni. Ezeket a problémákat kiküszöbölendő kezdett elterjedni a helikopter sárkányszerkezetéhez rögzített (1. kép), vagy annak belsejében elhelyezett merev tartályok alkalmazása. A tartály feltöltésének szempontjából 3 féle feltöltési módot különböztetünk meg. Az első megoldás, hogy a víz felett lassan elhaladó helikopter a vízfelületbe lógatott feltöltő csövön keresztül a víz áramlását kihasználva tölti fel a tartályt. Másik megoldás, hogy a helikopter a vízfelület felett lebegve saját beépített szivattyújával szívja fel a vizet. Ez utóbbi megoldás legismertebb képviselői a Kamov Ka-32 és a Sikorsky S-64 Skycrane (Erickson S-64 Olga) (2. kép). Az utóbbi, eredetileg légidarunak tervezett forgószárnyast egy 10 000 dm<sup>3</sup> (2,650 gallon) kapaci-

tású tartállyal látták el mely mereven kapcsolódik a gép vázához. A gép a beépített szivattyújával, a vízfelület felett függeszkedve egy hagyományostól eltérő rendkívül nagyméretű szívótömlőn keresztül tölti fel a tartályát, majd a ledobási pont fölé érve kinyitja a tartályajtót. A harmadik megoldás egy hazai fejlesztés. A Forgószárny Kft. szakemberei által alkalmazott eljárás során a helikopter táplálása egy hagyományos „B” tömlőn keresztül történik egy közönséges gépjármű-fecskendőről vagy vízszállítóról. Ennek köszönhetően az alkalmazáshoz nem szükséges tó, folyó, vagy mobil medence. Azzal, hogy a tartály a helikopter belsejébe került jelentősen javult a manőverező képesség, növelhető a helikopter sebessége, ill. gyakorlatilag nullára csökkent a repülés közbeni oltóanyag veszteség. Mindezen előnyök mellett továbbra sem volt megoldott a nagy kiterjedésű tüzek légi oltásának egyik legnagyobb problémája.



1. kép Bell 412 aljához rögzített merev tartályos megoldás, USA fotó: Krizsán Lajos



2. kép. Sikorsky S-64 Skycrane, USA fotó:Krizsán Lajos

## Hazai fejlesztés

Az ilyen jellegű káresetek oltásánál különös figyelmet kell szentelni a kialakuló rendkívül

magas hőképződésnek, mely hő értelemszerűen felfelé áramlik, pont az oltást végző légi jármű irányába. A nagy tömegű felszálló meleg levegő ún. „pompázs” hatást eredményezhet, mely egyfajta nyomáslengés, amikor a hajtómű kompresszorában a rendezett áramlás felbomlik és egy időben változó, pumpálás lép fel. Ez a nyomáslengés amellet, hogy a hajtómű sérülését is okozhatja a tolóerő elvesztéséhez vezet.<sup>8</sup> Ezt elkerülendő a pilóta kénytelen magasabb, „hűvösebb” környezetbe emelkedni a biztonságos repülés érdekében. A magasság növelésével azonban egyenes arányban növekszik a ledobás pontossága, ill. a kijuttatott vízmennyiség oltóhatása is drasztikusan csökken. Ez a probléma sokáig megoldhatatlannak tűnt, azonban Imreh Lajos a Forgószárny Kft. tulajdonosa és főpilótája egy, a világon egyedülálló megoldást dolgozott ki. Ahhoz, hogy a tüzet kellően meg lehessen közelíteni és ne kelljen az üritéshez a nagy hőmérsékletű tűz feletti légtömegbe repülni, át kellett helyezni a kidobás irányát. A Mil Mi–2 típusú gép belsejében, az ülések eltávolítását követően elhelyezett 1,4 m<sup>3</sup>-es műanyag tartály kiömlőnyílása a géptörzs bal oldalán került kialakításra. Az elképzelés szerint a hagyományos eljárásokkal szakítva a tűz oltása már nem fentről lefelé merőlegesen, hanem fentről lefelé oldalról történik. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a gép eddig elképzelhetetlen mértékben meg tudja közelíteni a tüzet.

A tapasztalatok során a bambi bucket-el történő oltás a gyakorlati életben inkább a merevszárnyú repülőgépekre jellemző vonal oltásként jelenik meg. Ennek okai, hogy a bambi bucket kiömlőnyílása viszonylag kicsi, így elhúzódik a kiömlés ideje, valamint a már többször említett felszálló nagy hő miatt a pilóta igyekszik minél rövidebb ideig tartózkodni a kritikus zónában. Ezen tapasztalatok folytán a Mi–2-es kiömlőnyílása során a bambi bucket-énél majdnem kétszer akkora, 750 mm átmérőjű elektronikusan vezérelt kiömlőnyílást alkalmaznak. Ennek következtében kb. 1,5 sec alatt a tartályban lévő alkalmazási környezettől függő 800-1400 liter víz egyszerre egy tömegben dobható a tűz fészke, terítési hatékonysága 60-80 l/m<sup>2</sup>. Ez a tény, továbbá a csekély beavatkozási magasság és a nagyobb pontosságot lehetővé tevő ledobás drasztikusan növeli az oltás hatékonyságát.

### **Alkalmazása a gyakorlati életben<sup>9</sup>**

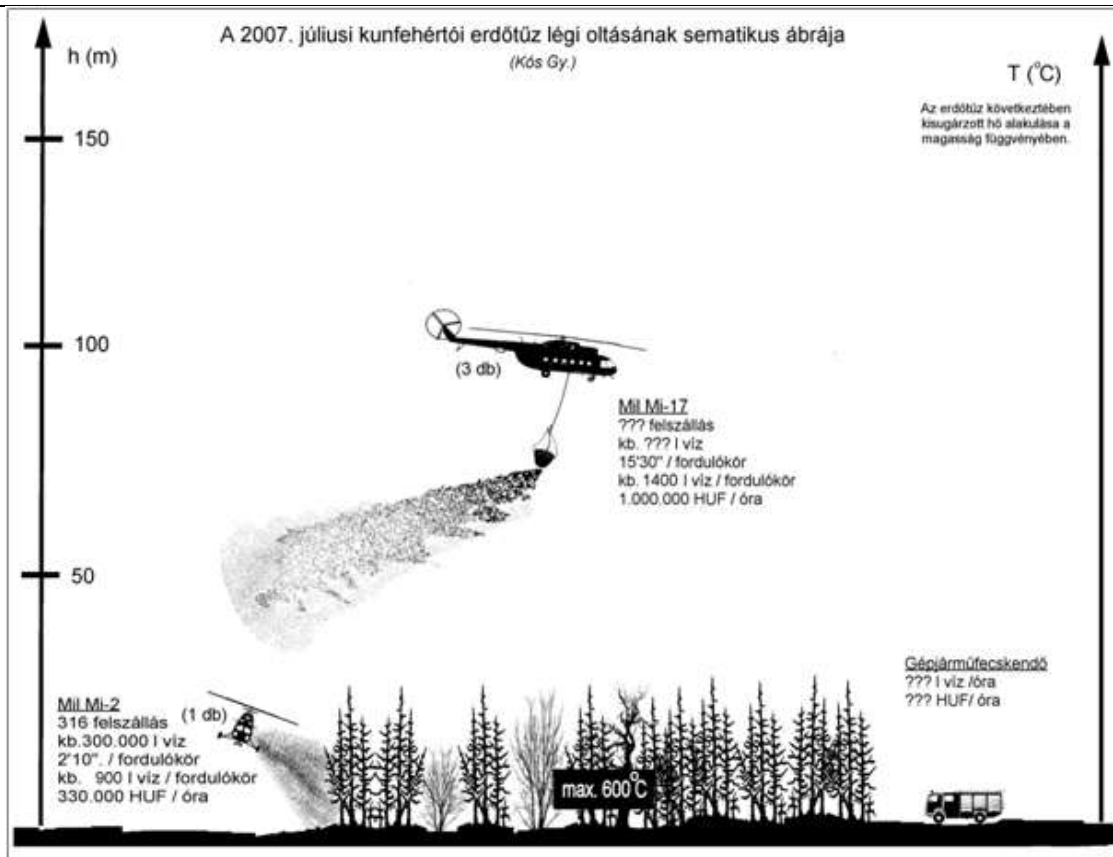
Az új technológia első, élesben alkalmazott bevetésére 2007 júliusában került sor Kunfehértó térségében. A nehéz terepviszonyok és a nagy kiterjedésű tűzterület indokoltta tette a légi járművek bevonását felderítés és tűzoltás céljából. Az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság és a Forgószárny Kft. közötti szerződés alapján került mozgósításra Imreh Lajos úr Mil Mi–2 típusú helikoptere. A négy napig tartó ott tartózkodásuk ideje alatt a gépük 316 felszállást és egyben beavatkozást hajtott végre. Átlagosan 800-900 liter vizet szállítottak a kárhelyre, ez közel 300 000 liter kijuttatott oltóanyagot jelentett összesen. A helyszínre rendelt honvédségi Mi–17 típusú gépekkel szemben, melyek méretüknél és repüléstechnikai

<sup>8</sup> <http://gepmadarak.repulnijo.hu/concorde/a-katasztrofa/> (letöltés ideje: 2012. 03. 13. )

<sup>9</sup> Dr. Cziva Oszkár: Tanulmány a légimentés hazai helyzetéről.2005

[http://www.langlovagok.hu/tanulmanyok/2005/legimentes\\_cziva\\_oszkar\\_tanulmany.doc](http://www.langlovagok.hu/tanulmanyok/2005/legimentes_cziva_oszkar_tanulmany.doc) (letöltés ideje: 2012. 03.10)





1. ábra

paramétereiknél fogva átlagosan 15 perc 30 másodpercenként tettek egy fordulókört, addig ugyanezt a lényegesen kisebb és könnyebb Mi-2 2 perc 10 másodperc alatt teljesítette. Előnye volt továbbá, hogy a bambi bucket-tel felszerelt Mi-17 esek kénytelenek voltak 80-100 méter magasságból dolgozni, addig az említett fejlesztésnek köszönhetően a Mi-2 ezt már 20-40 méter magasságból képes volt teljesíteni (1. ábra). Fontos megjegyezni, hogy bár szerencsére nem volt rá szükség, a gép kialakítása és a személyzet kiképzettsége folytán alkalmas lett volna személymentésre is. Ez azt jelenti, hogy bajba jutott beavatkozó állomány fölé repülve a kijuttatott oltóanyaggal csökkenti a lángolást, majd újabb rárepülés nélkül megkezdheti egyszerre akár 3 fő kiemelését. Összegezve: bár a Mi-2 csak alkalmanként átlagosan 800 liter vízzel tudott beavatkozni, ami a Mi-17 esek 2 m<sup>3</sup>-es bambi bucketjéhez képest kevésnek tűnhet, a rövidebb forduló körök, a pontosabb célba juttatás és a lényegesen kedvezőbb üzemeltetési költségek miatt ez 2,5 szeres hatékonyságot tesz lehetővé.

## FEJLESZTÉSI IRÁNYOK

A hazai légi tűzoltás szempontjából a legfőbb dilemmát az jelenti, hogy készenlétben kell-e tartani azonnal bevethető helikoptert vagy elegendő vállalkozással szerződésben állni szükség esetére?

### Üzemeltetés szerződés alapján

Jelen pillanatban az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság a Forgószárny Kft.-vel áll szerződésben. A helikopter bevetésének elrendelését követően a felszállásig eltelt idő a ta-

paszlatatok szerint körülbelül 4 óra. Ez természetesen tovább nőhet, illetve csökkenhet attól függően, hogy a szakszemélyzet tagjai éppen hol tartózkodnak, illetve a helikopter végez-e egyéb tevékenységet az adott pillanatban. Fontos megjegyezni, hogy mivel a cégnek ez egy szolgáltatása és nem fő profilja, ezért legtöbbször a tartály (t) beszerelése is a riasztás elrendelése után történik meg. Tényleges beavatkozás szükségessége esetén a beavatkozásig eltelt idő csökkentésére érdemes lenne kidolgozni egy készenléti fokozatot. Ez azt jelentené, hogy a helikopter bevetésének növekvő esélye esetén, a szerződött fél már a bevetés elrendelése előtt, a mindenkor beavatkozási díj egy bizonyos százalékáért készenlétbe helyezi személyzetét és technikai eszközeit, várva a riasztásra. Ehhez hasonló megoldásra számtalan példa létezik a világban. A kanadai Manitobai Természeti Erőforrások Hivatala által alkalmazott készenléti rendszer, például 5 riasztási fokozatot különít el.<sup>10</sup>

- Vörös riasztási fokozat: a személyzet a bázison tartózkodik, a repülőgép üzemanyaggal feltöltve készen az azonnali riasztásra;
- Sárga riasztási fokozat: a személyzettel kapcsolatban állnak és 15 percen belül szolgálatra tudnak jelentkezni. A repülőgép üzemanyaggal feltöltve és 30 percen belül bevethető;
- Kék 1 riasztási fokozat: a személyzettel kapcsolatban állnak. A gép a riasztást követő 1 órán belül bevethető;
- Kék 2 riasztási fokozat: a személyzettel kapcsolatban állnak. A gép a riasztást követő 2 órán belül bevethető;
- Zöld riasztási fokozat: Készenlét.

A hazai viszonyok tekintetében nem indokolt és nem is megoldható ilyen szintű rendszer alkalmazása, azonban érdemes lenne megvizsgálni egy háromfokozatú riasztási szint működőképességét, mely a következőképpen alakulhatna:

- Bevetési fokozat: a helikopter elindul a kárhelyre;
- Riasztási fokozat: személyzet a bázison tartózkodik, a helikopter üzemanyaggal feltöltve készen az azonnali riasztásra;
- Készenléti fokozat: a szerződött fél rendelkezik a bevetéshez szükséges technikával és az üzemeltetéshez szükséges logisztikával.

Tekintve, hogy riasztási fokozatban a helikopter nem végezne tényleges beavatkozási tevékenységet, azonban így is anyagi kiadásokat jelentene, ki kellene dolgozni annak a hátterét, hogy ki és milyen körülmények esetén lenne jogosult riasztási ill. bevetési fokozat elrendelésére. A szerződés alapján történő üzemeltetés legnagyobb hátránya a hirtelen felmerülő káresetekkel szembeni rugalmatlanság. Hiába lenne egy adott káreset helikopter bevetésével könnyebben és gyorsabban felszámolható (lásd. pl. kunfehértói tüzeset), ha a riasztást követően csak órákkal később képes beavatkozni, mire jelentősen kiterjed a káreset.

## Üzemeltetés állandó készenléttel

A másik megoldás az állandó készenlétet adó szolgálat felállítása. Ennek a megoldásnak köszönhetően kiküszöbölhető lenne a szerződéses üzemeltetésre jellemző nehézkes mozgósítás.

---

<sup>10</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Helitack> (letöltés ideje: 2011.11.20)

Az elmúlt évek tapasztalatai alapján kijelenthető, hogy érdemes lenne kidolgozni egy állandó készenlétet ellátó helikopteres egység felállításának lehetőségét. Legnagyobb hátránya az állandó készenlétnak a kihasználatlanság esetén megjelenő magas üzemeltetési költségek. Ezen költségek csökkentése érdekében kihasználható lenne a helikopterek többcélúsága, így nem kizárólag tüzek megfékezésére korlátozódna a feladatkör. További probléma lenne a személyi feltételek biztosítása. Nem megoldott az intézményesített, helikopteres pilótaképzés. Sem a Légimentő Nonprofit Kft, sem a Magyar Honvédség, sem a rendőrség nem képez ma tanfolyamszerűen pilótákat. Jelen pillanatban csak a Nyíregyházi Főiskolán folyik hivatásos pilótaképzés. Mivel a vészhelyzeti szolgálatoknál szolgálatot teljesítő pilótáknak más jellegű elvárásoknak kell megfelelnie, mint a polgári pilótáknak ezért szükséges lenne az ilyen jellegű pilóta utánpótlás megteremtésének biztosítása. Nincs kidolgozva továbbá a helikopteren szolgálatot teljesítő tűzoltó-mentő személyzet kiválasztási, oktatási és felkészítési tematikája sem. Jelen pillanatba csak a Forgószárny Kft. gyakorlati tapasztalataira hagyatkozhatunk. Ők működésük során eddig 27 embert mentettek ki veszélyes környezetből (1999, Kemence, 14 fő; 2001, Ukrajna, 12 fő; 2001, Tarpa 1 fő). Részt vettek továbbá a honvédség kutató-mentő szolgálatának kiképzésében is. Feladatkörükből adódóan a kiválasztásuk és a felkészítésük során kiemelt figyelmet kellene fordítani a munkájuk során felmerülő magas pszichikai és fizikai igénybevételre. Kiképzettségükből adódóan készség szintű jártassággal kellene rendelkezniük az alpintechnikában, az alpintechnikai mentésben, a tűzoltó és műszaki mentő eszközök kezelésében és a sürgősségi egészségügyi ellátásban. Hatékonyan kellene továbbá együttműködniük a katasztrófavédelem, a tűzoltóság, a honvédség és a mentőszolgálat szakembereivel.

Ahhoz, hogy egy állandó készenlétet ellátó helikopteres szolgálatban rejlő lehetőségeket maximálisan ki lehessen használni, alkalmazás feltételeinek kidolgozásához szükséges lenne bevonni az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság mellett a Magyar Honvédség, a Magyar Légimentő Nonprofit Kft, a Vizimentők Magyarországi Szakszolgálata Egyesület, a Vidékfejlesztési Minisztérium, és nem utolsósorban e területen legnagyobb tapasztalatokkal és sikerekkel rendelkező Forgószárny Kft. szakembereit is.

## **Következtetés**

A 2007. július 27-30. között bekövetkezett erdőtűzkor csak a KEFAG ZRT. 241,5 hektár állami tulajdonú erdőjén (a 858,5 hektár leégett magánerdőt nem számolva) 230.000.000 ft veszteség keletkezett. Ennyi pénzből elméletileg egy Mi-17 több mint kilenc napot, a kisebb kategóriájú Mi-2 pedig huszonkilenc napot tölthetne szinte egyfolytában a levegőben.

Azokban az országokban, ahol a természeti feltételek már régebb óta lehetővé teszik nagy kiterjedésű vegetációtüzek kialakulását (boreális erdők: USA, Kanada, Oroszország, mediterrán térség: Spanyolország, Horvátország, Görögország) nagy tapasztalatokra tettek szert az erdőtüzek oltása terén. Hazánkban a tűzoltó szakma csak az utóbbi évtizedekben kezdett megkülönböztetett figyelmet szentelni a vegetáció tüzei által támasztott speciális igényeknek. A természetben lejátszódó tendenciák és a közelmúlt káreseteinek gyakorisága és súlyossága alapján azonban megállapítható, hogy igenis számolnunk kell a jövőben akár a kunfehértói esethez hasonló kiterjedt vegetáció tüzek kialakulásával, melynek sikeres kezeléséhez elengedhetetlen a helikopterek alkalmazása.



A legnagyobb kérdés csupán az, hogy melyik a kifizetődöbb: az állandó készenlét, vagy az alkalmoszerű alkalmazás?

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial\\_firefighting](http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_firefighting)
- [2] KEFAG Zrt. Jánoshalma-Kunfehértó-Kéleshalom Erdőtűz 2007. július 25-30. Kárértékszámítás
- [3] Dr. Komjáthy László- Répásy Péter Az erdőtűzek kialakulásának körülményei és oltásának lehetőségei
- [4] Dr. Komjáthy László The challenges of extinguishing forest fires
- [5] <http://gepmadarak.repulnijo.hu/concorde/a-katasztrofa/>
- [6] Dr. Cziva Oszkár: Tanulmány a légimentés hazai helyzetéről. 2005 [www.langlovagok.hu/tanulmanyok](http://www.langlovagok.hu/tanulmanyok)
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Helitack>
- [8] Tanulmány a Bács-Kiskun megyében 2007. július hónapban bekövetkezett erdőtűzekekről
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Helitack>



Dr. Palik Mátyás<sup>1</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK HAZAI SZABÁLYOZÓI KÖRNYEZETE FEJLESZTÉSÉRE IRÁNYULÓ K+F PROJEKT BEMUTATÁSA<sup>2</sup>

*Napjainkban számos nemzetközi és nemzeti légiközlekedési szervezet, és hatóság dolgozik azon, hogy miként is kellene szabályozni az UAV repüléseket, hogyan lehetne azokat még biztonságosabbá tenni. A hazai légügyi szabályozás sem veheti figyelmen kívül e téma aktualitását. A szerző a cikkben összefoglalja az UAV-k alkalmazásában rejlő kockázatokat, kihívásokat. Bemutatja az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” kutatási projecthez tartozó, az UAV-k alkalmazásának jogszabályi környezetéhez kapcsolódó kutatási területet. Részletezi annak céljait, valamint bemutatja várható eredményeket a hazai alkalmazás elősegítésére.*

### **DESCRIPTION OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLES DOMESTIC REGULATORY ENVIRONMENT FOR DEVELOPMENT R&D PROJECT**

*Nowadays, many international and national aviation organizations and authorities are working on how we should control the UAV in flight, how to make them even safer. The national aviation regulations cannot ignore this topic. The author summarizes the application of UAVs possible risks and challenges. Shows to „New Plan Szechenyi „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011 - Critical infrastructure defending” research projects included in the UAV application of the regulatory environment related to the research area. Detailing its objectives and expected results, in order to promote the domestic use.*

## BEVEZETÉS

### **A kutatás-fejlesztési projekt háttere és indokoltsága**

A pilóta nélküli légi járművek (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) napjainkra elérték azt a fejlettségi szintet, amikor bizonyos feladatok végrehajtásában hatékonyabban és biztonságosabban képesek tevékenykedni, mint pilóta által vezetett repülőeszközök. Mindezeket túl alkalmazásuk nem jár a személyzet egészségének és/vagy életének szükségtelen kockáztatásával, veszélyeztetésével. A légi robotok egyre több, és egyre sokrétűbb módon kerülnek alkalmazásra, úgy katonai, mind a civil területen. Az eszközök felhasználása a repülések egyes speciális területein egyre inkább fokozódik. [1]

A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (International Civil Aviation Organization - ICAO) 2011. március 11-én adta ki 328 számú körlevelét, amely a pilóta nélküli légi járműrendszerek (Unmanned Aerial System – UAS) kérdéseivel foglalkozik. [2]

A körlevél célja, hogy betekintést nyújtson a tagországok számára az ICAO azon erőfeszítéseiről, melyek az UAS-ek a nem-elkülönített légterekben és repülőtereken való alkalmazásával

<sup>1</sup> alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék; palik.matyas@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Szabolcsi Róbert okl. mk. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszerződési Egyetem, szabolcsi.robert@uni-nke.hu

kapcsolatosak, megvizsgálja az alapvető különbségeket az emberi és a pilóta nélküli repülés között valamint, hogy az ösztönözze a tagállamokat arra, hogy saját tapasztalataikkal hozzájáruljanak az UAV-k biztonságos működtetésének kialakításához.

A kritikus infrastruktúra védelem szektorai közé tartoznak többek között az energetikai-, a telekommunikációs és informatikai rendszerek, az élelmiszer és ivóvíz ellátás, a közlekedés, az egészségügy, a pénzügyi rendszer, az igazságszolgáltatás, valamint a közigazgatás (állami és honvédelmi/rendvédelmi szervek). Az Európai Parlament és a Tanács 1982/2006/EK határozatával összefüggésben a projekt célja a nemzetközileg elérhető tudás összegyűjtése, adaptációja, illetve olyan új technológiák és tudás létrehozása, amely hozzájárul az állampolgárok biztonságának szavatolásához olyan fenyegetések ellen, mint például a terrorizmus, a természeti katasztrófák és a bűnözés, az emberi alapjogok egyidejű tiszteletben tartásával.<sup>3</sup>

2011-ben hazánkban az Új Széchenyi Terv részeként, felsőoktatási intézmények konzorciumi együttműködésben való részvételével, kiírásra került a „**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások**” pályázat, melynek célkitűzése a kritikus infrastruktúra védelem területén, nemzetközi színvonalon és együttműködésben végzett K+F tevékenységhez szükséges kritikus tömegű humánkapacitás konszolidációja, szükség szerinti fejlesztése, és e területeken végzett innováció támogatása.

A projektre az Óbudai Egyetem és az akkori Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem konzorciumi formában nyújtott be pályázatot, melyet sikeresen elnyertek, biztosítva ezzel 2013 végéig e területen megvalósítandó K+F tevékenységeket. A pályázat négy kiemelt területre koncentrált, melyek közül az „Adatintegráció” alprogram fogja össze és kutatja az UAV alkalmazásához kapcsolódó területeket. Ezek egyike „*A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai*” nevet viselő kiemelt kutatási terület.

Ahogy az UAV-k lehetőségei kiszélesedtek, egyre szélesebb területeken kívánják ezeket az eszközöket alkalmazni. Ezzel együtt nyilvánvalóvá vált, hogy a meglévő légiközlekedési rendszerben változásokat kell foganatosítani. A rohamos technológiai fejlődéssel együtt jár, hogy a felhasználók és a rendszerek légiközlekedési szabályozásában résztvevők egyre több és több megoldatlan, szabályozási problémával találják szembe magukat.



1. ábra Ütközés a levegőben: RQ-7 Shadow UAV által okozt sérülés egy C-130 Herculesen<sup>4</sup>

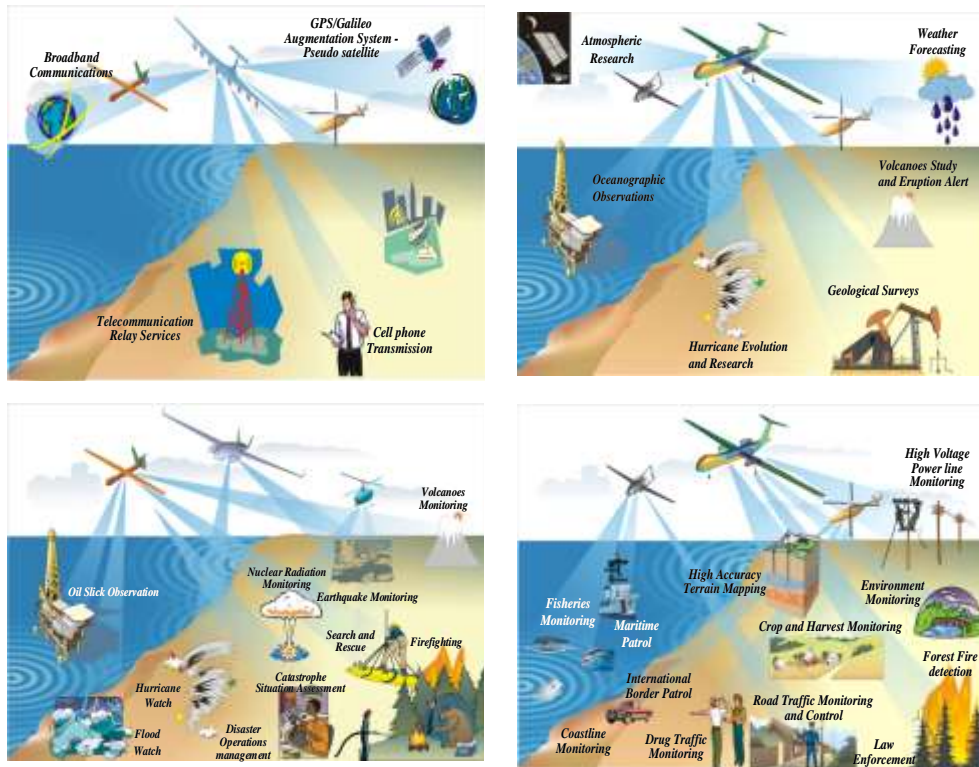
<sup>3</sup> Megvalósíthatósági tanulmány: Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások az Óbudai Egyetemen és a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen

<sup>4</sup> [http://www.suasnews.com/wp-content/uploads/2011/08/IMG\\_1949.jpg](http://www.suasnews.com/wp-content/uploads/2011/08/IMG_1949.jpg)

Hazánkban az UAV-k békében történő alkalmazását, átfogó jelleggel eddig még nem dolgozták fel, sem annak légiközlekedés-biztonsági-, sem alkalmazói környezetének szempontjából.

Az UAV-k békeidőben való alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusból történő vizsgálatát és a szabályozói környezet kidolgozásának aktualitását elsősorban az indokolja, hogy úgy a hazai, mint a nemzetközi előírások hiányosak, nincs meg a jogszabályi kerete a légi robotok hazai alkalmazásának.

Mindezek miatt elengedhetetlenül fontos, hogy az alkalmazásukkal kapcsolatos légiközlekedés-biztonsági kérdések tisztázásra kerüljenek.



2. ábra Az UAV-k civil felhasználásának lehetőségei<sup>5</sup>

A meglévő hazai jogszabályok, illetve nemzetközi ajánlások feldolgozását, valamint kiértékelését követően a döntéshozatalban és a végrehajtásban érintett potenciális szervezetek, megrendelők a hiányzó jogforrásokhoz és a gyakorlati repülések tervezéséhez, végrehajtásához, azok ellenőrzéséhez kaphatnak hasznos ajánlásokat. Napjainkban a légiközlekedés és a repülésbiztonság területén nincs olyan nemzetközi, vagy hazai szervezet, munkacsoport, hatóság – legyen az katonai, vagy polgári – amely ne foglalkozna e speciális eszközrendszerrel, ne kutatná annak szabályozási és biztonsági aspektusait.

Világszerte már számtalan kezdeményezés indult e területen, melyeknél megvan az igény a nemzetközi együttműködésre, a koordinációra. Mindezek mellett elmondható az is, hogy az egységes nemzetközi szabályozást nagymértékben hátráltatják az eszközök alkalmazásával, üzemeltetésével kapcsolatos, meglévő, nemzeti légiközlekedési jogszabályok.

<sup>5</sup> [http://www.aerodays2006.org/sessions/E\\_Sessions/E3/E34.pdf](http://www.aerodays2006.org/sessions/E_Sessions/E3/E34.pdf)

## A KUTATÁS MEGVALÓSÍTÁSÁNAK FŐ ELEMEI

Nemzetközi kutatások támasztják alá, hogy az UAV-k rövid 8-10 éven belül a légiközlekedés szerves résztvevői lesznek, amely során szoros kapcsolatba kerül annak minden korábbi meglévő szegmensével, úgy békében, mind háborúban.

A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai kiemelt kutatási terület célja, hogy megvizsgálja az UAV jelenlegi és várható hazai alkalmazásának körülményeit, feldolgozzon egyes már meglévő nemzetközi (ICAO, EUROCONTROL, EASA stb.) ajánlásokat, a szövetségi (NATO, EU) és a nemzeti szabályzókat. Jelölje ki az UAV-k hazai jogi szabályozásának főbb irányait, határolja be azok kereteit és tegye meg a szükséges ajánlásokat a jogszabályi háttér módosítására, kialakítására. Készítsen javaslatot az UAV-k légiközlekedés-biztonságot szavatoló technikai és szervezési feltételrendszerének megteremtésére.

A kitűzött célok elérése érdekében ki kell jelölni, és össze kell gyűjteni a pilóta nélküli légi járművekkel kapcsolatos hatályos nemzeti jogszabályokat, a nemzetközi repülési- légiközlekedési- és légiközlekedés-biztonsági szervezetek ajánlásait, az UAV-k légiközlekedés biztonságát szavatoló technikai eszközrendszereit és működési feltételrendszerait szabályozó dokumentumokat. Fel kell kutatni a nemzetközi ajánlásokat, alkalmazásokat, beleértve a legmodernebb, előre mutató kutatások és fejlesztések eredményeit is.

A következő lépésben analizálni, és összehasonlítani kell az összegyűjtött dokumentumokat. A vizsgálat fókuszában a légiközlekedés-biztonságát jelentősen veszélyeztető, illetve szabályozatlan területek kijelölése kell, hogy álljon. Rá kell mutatni a meglévő jogi szabályozás, az alkalmazott technikai eszközrendszerek és működési feltételek hiányosságaira, elemezni kell azoknak a légiközlekedés biztonságára gyakorolt hatását. Mindezeket túl fel kell tárnai a közöttük meglévő azonosságokat. Ki kell emelni a már meglévő szabályozói, valamint a technikai rendszerek előnyeit, rá kell világítani azok továbbfejlesztési lehetőségeire.

Az egységes megközelítés miatt kell dolgozni egy általánosan elfogadható szakterminológia, és rövidítésrendszert. Ez egy olyan közös kiinduló elem, mely elengedhetetlen feltétele a későbbi jogi szabályozói környezet megalapozásának.

A kutatás további fázisaiban, ajánlásokat kell megfogalmazni az UAV-k jogi szabályozásának kidolgozásához, többek között az alábbi területeken:

- minimális üzemelési feltételek;
- jelekkel- jelzésekkel való ellátás;
- lajstromba vagy nyilvántartásba vétel;
- az üzemeltetéshez szükséges engedélyek (üzemben tartási engedély, típus alkalmassági-, légi alkalmassági bizonyítvány);
- a szakszemélyzet képesítése (szakszolgálati engedély);
- az alkalmazási kör meghatározása (különleges engedély szükségessége);
- a légiközlekedési felelősségbiztosítás kérdése.

Elengedhetetlen eleme az UAV-k a biztonságos légi és földi üzemelésének, hogy a szükséges általános, és különleges repülési szabályokra vonatkozó ajánlások kidolgozása megtörténjen.



Mindezekon túl meg kell határozni az UAV-k légiközlekedés-biztonságot szavatoló műszaki, és technikai eszközrendszereit, melyen belül ajánlásokat kell megfogalmazni a fedélzeti felszereltség követelményekre, elsősorban az alábbi területeken:

- precíziós navigációt biztosító eszközök;
- távérzékelőkkel történő látást-, és veszélyre figyelmeztető és elkerülést biztosító eszközök;
- felismerést-, azonosítást, biztonságos földetérést biztosító berendezések;
- repülésirányító- és ellenőrző eszközrendszerek;
- különleges repülési- és vészhelyzetek megoldását biztosító eszközök.

Ki kell dolgozni a javasolt eszközrendszerek biztonságos légi- és földi üzemeltetéséhez, szükséges legfontosabb ajánlásokat és szabályokat.

A kutatás további területe az UAV-k biztonságos működését elősegítő, támogató szervezési feltételrendszerekre történő ajánlások kidolgozása. Ezeket a javaslatokat elsősorban az alábbi területekre kell megtenni:

- a le- és felszállóhelyek kijelölése;
- repülőterek igénybevétele;
- a repülések igénylése és tervezése;
- a szükséges légihelyzet- és meteorológiai információk biztosítása;
- a koordináció megvalósítása és a célszerű együttműködés kialakítása és fenntartása a légiforgalmi szolgálatok és az UAV-kat irányító egységek között.



3. ábra Az UAV jövője a légiközlekedés-biztonság minden oldalú szavatolása<sup>6</sup>

Elengedhetetlen feltétele a kiemelt kutatási terület sikerének a téma tudományos alaposággal történő megközelítés. Ennek érdekében a szintetizáló, analízáló jellegű kutatási módszereken túl élnünk kell egyéb lehetőségekkel is.

<sup>6</sup> [http://www.barnardmicrosystems.com/download/UAV\\_Roadmap\\_Overview1.pdf](http://www.barnardmicrosystems.com/download/UAV_Roadmap_Overview1.pdf)

Ennek érdekében:

- az UAV légiközlekedés-biztonságot szavatoló szervezési feltételrendszerének biztosítása érdekében repülésbiztonsági konfliktuselemzést kell elvégezni;
- a további kutatásokhoz szükséges kísérletek elvégzéséhez reális helyzetet tükröző szimulációs gyakorlatokat kell megtervezni, összeállítani;
- a szimulációk biztosításához UAV eljárásokat kell megtervezni;
- mindezekon túl gyakorlatokat kell végezni 3D TWR szimulátoron, illetve azokat elemezni, értékelni.

## HASZNOSULÁS

A kutatás eredményei az alábbi fő területeken lesznek hasznosíthatók:

- a repülések végrehajtásában résztvevő valamennyi szervezet (HM, BM, KVI, légitársaságok, repülő szervezetek, repülőklubok képző intézetek stb.);
- a légiforgalom szervezés valamennyi (légiforgalmi irányítás, légiforgalmi áramlás-szervezés, légtérgazdálkodás) résztvevője (Nemzeti Légtér Koordinációs Bizottság, HungaroControl, katonai légvédelmi és légiforgalmi irányítás stb.);
- a repülőterek üzemeltetésében résztvevők (Budapest Airport, HM illetve civil üzemeltetők);
- minden jelenlegi és jövőbeni UAV-t alkalmazó, üzemeltető szervezet.

A két éves projektben 10 fő kutató (50%-uk tudományos fokozattal rendelkező) és egy fő asszisztens vesz részt. A résztvevők 60%-ban a NKE Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék munkatársai.

A pályázatba bevont szakemberek, több alkalommal, 8 különböző helyszínen megrendezésre kerülő nemzetközi konferencián és tanulmányúton vesznek részt, melynek során közel 25 nap alatt, 15-20 idegen nyelvű konferencia előadást tartanak meg. A megcélzott indikátoraink kiegészülnek még több tucat hazai konferencia előadással és folyóiratcikkkel. Az egyes szűkebb kutatási területeket a kijelölt felelősök által összeállított jelentésekkel, valamint a főbb alprojekt eredményeket, összefoglaló, részletesebb kutatói jelentésekkel dokumentáljuk.

A pályázat fontos szerepet szán a kutatói utánpótlás fejlesztésére, melynek érdekében 1 év időtartamban PhD hallgatót is foglalkoztatunk. Rajta kívül több BsC és MsC hallgatót vonunk be az egyes részterületek kutatásába. A hallgatók indikátorai ugyan csak folyóiratcikkek, konferencia előadások, TDK- valamint záró dolgozatok formájában öltenek testet.

A szakma számára az ajánlások összefoglaló kutatói jelentések formájában készülnek el, mely legvégül egy stratégiában ölt testet. A dokumentumok szakértői segítséget nyújthatnak a későbbi jogszabályok kidolgozásához, a pilóta nélküli repülőgépek szükséges technikai eszközrendszerekkel történő felszereléséhez, és megbízható üzemeltetéséhez szükséges feladatok kialakításához, valamint ajánlásokat adhatnak üzemeltető-, és üzemeltető szakemberek, valamint szervezetek számára az UAV-kal kapcsolatos szervezési feltételrendszer további kidolgozásához.

A kutatás fontos eleme a minél szélesebb körű együttműködés kialakítása és fenntartása a

megvalósításába bevonni kívánt partnerekkel a megcélzott hasznosítókkal és felhasználókkal. Ennek elengedhetetlen része a folyamatos kapcsolattartás, a koordináció, a célzott piackutatás, valamint a networking.

A kutatási időszak lezárásakor az elkészült dokumentumokat és javaslatokat átadjuk az érintetteknek. A projektet, egy az elért tudományos eredményeinket bemutató, összefoglaló, tudományos konferencia megrendezésével kívánjuk zárni. A pályázat tervében szerepel, a kapcsolódó UAV alkalmazási területeket (MET, HUM, LAW, GEO, SEN stb.) is magába foglaló tudományos-ismeretterjesztő könyv kiadása is.

A kiemelt kutatási terület sikere előmozdíthatja a pilótánélküli légi járművek hazai alkalmazási körének bővülését és légiközlekedés biztonságának fokozását. Növeli a projektbe bevont kutatók (szakemberek) kompetenciájának az UAV-k alkalmazásának területén. Mindezekon túl a projekt a résztvevő szervezetek hosszú távú célkitűzéseikhez, stratégiai céljaihoz is hozzájárul.

Az ismertetett kutatás a projekt „Adatintegráció” alprogramján belül „*A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai*” kiemelt kutatási területén valósul meg.



***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] USAF: Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2009-2047, Headquarters, Washington DC, 2009
- [2] ICAO Cir 328, Unmanned Aircraft Systems (UAS), Order Number: CIR328, ISBN 978-92-9231-751-5
- [3] AAP-6(2006): NATO Glossary of Terms and Definitions – NATO Fogalmak és meghatározások
- [4] EUROCONTROL: Specifications for the Use of Military UAVs as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace, Edition: 1.0, 2007
- [5] Palik, M.: Pilóta nélküli légi jármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben, PhD értekezés, Budapest, ZMNE, 2007
- [6] Palik, M.: Pilóta nélküli repülés - légi közlekedézbiztonság, "Repüléstudományi Konferencia 2008 - 70 éves a légierő " Szolnok, 2008.



Restás Ágoston, PhD<sup>1</sup>

## LÉGI TŰZOLTÁS INSTANT HABBAL: I4F TECHNOLOGIA<sup>2</sup>

*Az I4F technológia a légi tűzoltás hatékonyságának növelésére szolgáló új megoldás. Alapeleme egy kompozit anyagból készült nyomástartó edény, amelyet a légijárművek fedélzetére installálnak. Az I4F technológia egyik előnye az, hogy a tartályban szállított oltóanyag kibocsátáskor homogén minőségű lesz, a másik, hogy csupán elhanyagolható a veszteségek mértéke. Az utóbbi, valamint az előállított hab homogén minősége lehetővé teszi, hogy az oltás olyan spektrumokba is kitolódjon, ahol a hagyományos technológiák, vagy a vízzel való oltási módok objektív okoknál fogva nem alkalmazhatóak. Az I4F technológia a légi tűzoltásban úgy eredményez taktikai áttörést, hogy annak költséghatékony megvalósulása gazdaságossági számításokkal is igazoltó.*

### **AERIAL FIRE FIGHTING BY INSTANT FOAM: I4F TECHNOLOGY**

*I4F technology is a new solution for making the efficiency of aerial fire fighting much better. The basic element of this technology is a pressure vessel made of composite, which is installed on the aircraft or helicopter's board. Advantages of I4F technology is once that the issued extinguishing agent will be homogenous; the other that only negligible the amount of the losses. The minimal losses, as well as the homogeneous quality of foam result that its capacity will turn in such a spectrum, where conventional technologies for objective reasons can not be applied. The I4F technology leads to breakthrough in aerial fire fighting tactics in such a way the cost-effectiveness of this technology is evidenced by economical calculations.*

## BEVEZETÉS

A globális klímaváltozás egyik várható hatása az, hogy az erdő és vegetációtüzek kockázata megnő, a bekövetkezett tüzesetek intenzívebbé válnak, súlyosabb károkat okozhatnak. A szakemberek szinte egyöntetű véleménye alapján a mediterrán térségre jellemző tüzek északi határa kitolódhat, elérve hazánkat is, főleg annak déli és alföldi területeit. Ez mindenképpen az erdőtüzek elleni védekezés fontosságát mutatja és az új megoldások, technológiák utáni kutatást indokolja.

Kiterjedt erdőtüzek oltásánál a nemzetközi gyakorlatban általános a repülőgépeket és helikopterek alkalmazása. Ezek, közúton járhatatlan helyekre is óriási mennyiségű oltóanyagot, többnyire vizet képesek eljuttatni, ám sokszor még ez a mennyiség sem elegendő a tüzek elfojtásához. A következőkben az oltóanyag hatékonyságát növelő új módszer, az I4F<sup>3</sup> technológia kerül bemutatásra.

Az I4F technológia alapja egy magyar szabadalom<sup>4</sup>, amely instant tűzoltóhab alkalmazásával kívánja az olajiparban használatos hatalmas tartályok tüzeinek oltását hatékonyan megoldani.

<sup>1</sup> egyetemi docens, mb. tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék, arestas@r-fire.hu

<sup>2</sup> Prof. Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, ovari.gyula@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Rövidítés: Instant Foam for Fighting Forest Fire – I4F

<sup>4</sup> Az eredeti szabadalom elnevezése Foam Fatal, szabadalmas: Dr. Szőcs István.



A szabadalom tulajdonosának egyetértésével és hozzájárulásával az eredeti technológiát légi tűzoltásra adaptálták, valamint továbbfejlesztve, várhatóan új szabadalom bejelentését is eredményezi.

Az I4F technológia prototípusának jelenleg a kicsinyített mása áll rendelkezésre. Ennek valós méretű elkészítése, földi és légi tesztelése, valamint piacra jutásának előkészítése várhatóan kockázati tőke bevonásával, vagy pályázati forrás igénybevételével fog megvalósulni. A fejlesztés háttérében jelenleg az R-Fire Kft. humán erőforrása nyújt segítséget, illetve biztosítja annak kereteit.

## A VÍZZEL OLTÁS LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI

### A vízzel oltás égéseméleti háttere

A légi tűzoltás során különböző oltóanyagok alkalmazhatóak. Az oltás környezetében található természetes vízforrások mindenképp alapvető jelentőségűek, mivel a belőlük származó víz felhasználható önmagában, illetve alapként szolgálhatnak a habok, vagy retardánsok elkészítéséhez.

Az erdőtüzeknél alkalmazott legáltalánosabb oltóanyag a víz. Felhasználásának gátat szab az, hogy az egységnyi felületen jutatható mennyisége korlátokba ütközik. A maximális mennyiség  $4\div 5 \text{ l/m}^2$  lehet<sup>5</sup>, mivel a lombkorona legfeljebb ennyit képes magán megtartani, ennyi „nedvesíti” a tűlevelek felületét, a többi lecsorogva a talajra hull. [1] Az itt felgyülemelő mennyiség a koronatűz terjedésére gyakorlatilag nincs hatással, vagyis, az oltás szempontjából fölösleges kijuttatás vesztességként értékelhető.

Nyári időjárási körülményeket figyelembe véve<sup>6</sup> 1 liter víz hőelvonó-képessége a fajhő<sup>7</sup> ( $4,2 \text{ kJ/kgC}^0 \times 80 \text{ C}^0 = 336 \text{ kJ/kg}$ ) alapján, valamint a párolgáshőjével<sup>8</sup> ( $2684 \text{ kJ/kg}$ ) összesen  $3020 \text{ kJ/kg}$ . A fentiek alapján a maximálisan alkalmazható  $5 \text{ l/m}^2$  mennyiség vesztesség nélküli oltási potenciálja  $15100 \text{ kJ}$ .

Egy sűrű, kifejezett fenyőerdő egységnyi felületre vetített biomassza mennyisége széles skálán mozoghat, tapasztalataim alapján az égés során figyelembe vehető mennyiségét<sup>9</sup>  $6\text{--}10 \text{ kg}$  körülre becsülöm. Ennek a mennyiségnek az égéshője szakirodalmi adatok alapján  $18500 \text{ kJ/kg}$  értékből számítva  $111000\text{--}185000 \text{ kJ}$ . [2]

Az égés szempontjából figyelembe vehető biomassza nedvességtartalma  $70\%$ -nak vehető [2], száraz nyári napok esetén bizonyára kevesebb. A lombzatnak így  $6\div 10 \text{ kg}$  tömegre vonatkoztatva  $4,2\div 7 \text{ kg}$ -nyi része a saját égéshőjével elpárologtatni szükséges víznek a tömege. Ennek a mennyiségnek a hőelvonó-képessége  $12684\text{--}21140 \text{ kJ}$ .

A fentiek alapján a fenyőlomb égés szempontjából figyelembe vehető mennyiségének az

<sup>5</sup> A talajon mérhető nettó csapadékmennyiség számítása alapján a lombkorona maximum  $5 \text{ l/m}^2$  mennyiséget képes megtartani.

<sup>6</sup> A víz hőmérsékletét  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -nak véve.

<sup>7</sup> A víz fajhője (c):  $4,2 \text{ kJ/kgC}$ ; Képlete:  $E_c = c \cdot m \cdot dT = 1680 \text{ kJ}$

<sup>8</sup> A víz párolgáshője (p):  $2684 \text{ kJ/kg}$ ; Képlete:  $E_p = p \cdot m$

<sup>9</sup> Az égés szempontjából az  $10 \text{ mm}$ -nél vékonyabb ágak vehetők figyelembe.

égéshője (111000-185000 kJ) jelentősen meghaladja a lomb tömege víztartalmának (12684-21140 kJ), valamint a maximálisan alkalmazható oltóanyagoknak (15100 kJ) az együttes hőelvonó képességét, vagyis ezzel a módszerrel hatékonyan nem lehet felvenni a koronatűz elleni küzdelmet. Az alsó értéknél négyszeres, míg a felsőnél ötszörös különbséget mutatkozik az égéshő javára!

A fentiekkel indokolható, hogy amennyiben az alkalmazható maximális mennyiség nem elegendő az oltáshoz, úgy az aktív, azaz támadó taktikát nem is alkalmazzák, még repülőgépekről történő oltás esetén sem. [3]

A téma szempontjából nem releváns, de a teljesség kedvéért meg kell jegyezni, hogy az előzőek csupán statikus összehasonlításon alapulnak, a valóságban számos más tényező is befolyásolja a fentiek egymásra gyakorolt hatását, így pl. az égés intenzitása is. Az elégtelen oltóanyag kapacitás miatt gyakran nem is cél a tűz azonnali eloltása, a taktika az égés intenzitásának folyamatos csökkentésére irányul; mint időbeli folyamatot tekintve ennek végeredményeként fog a tűz elaludni.

## A légi tűzoltás veszteségei

### Szállítási veszteség

A helikopterek esetében, a külső függesztmény nyitott teteje miatt a szállítás során jelentős veszteség keletkezhet. Ennek egyik összetevője, hogy az oltóanyag repülés közben a nyitott tartály oldalfalával való ütközve túlfolyik, kifröccsen. A másik jelentős veszteség a folyadék felszínének a levegővel való sűrűlődésszerűségéből származik. Ez a hatás - mint egy Bernoulli csőben - a folyadék felszínéről folyamatosan, akár jelentős mennyiségű oltóanyag elszívódását is okozhatja. A veszteség mértéke arányos a repülési sebességgel, a repülési útvonal hosszával és a folyadék szabad felszínének nagyságával is. Megfigyelések szerint 30 %-ot is meghaladhat a szállítási vesztesége. [4]

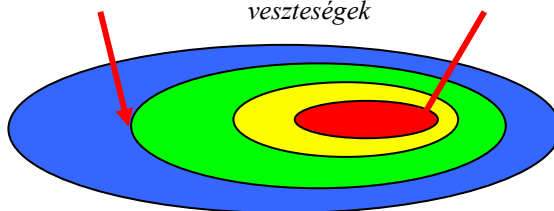


1. ábra A légi tűzoltás szállítási és kibocsátási veszteségei. Szerkesztés: szerző

### Kibocsátási veszteség

A porlasztást külön berendezés is elősegítheti, vagy a már részletezett módon a kibocsátáskor a levegővel való ütközés, sűrűlődésszerűség okozza. A repülési sebesség növelésével a porlasztás mértéke is nő. Ez lehetővé teszi, hogy a nagyon apró cseppek veszteségként elhagyják a kívánt területet anélkül, hogy a felszínre történő kihullásuk mérhető lenne. Ez a veszteség általában kb. 5 %, de adott körülmények között a 10 %-ot is meghaladhatja.

A hatásküszöb alatti és hatásküszöb feletti  
veszteségek



2. ábra A felületi eloszlás hatástalan részei  
Forrás: szerző.

### **Hatásküszöb alatti és feletti veszteség**

A hatékony oltáshoz biztosítani kell az adott tűzintenzitás csökkentéséhez elegendő mennyiségű oltóanyagot. Amennyiben ez a mennyiség nem éri el a kívánt szintet, akkor az oltás hatástalan, a kibocsátott oltóanyag veszteségként értékelhető. A 2 ábrán bemutatott szóráskép az oltóanyag felületi eloszlásának inhomogenitását mutatja. A  $0,2 \text{ l/m}^2$  minimális szint szakirodalomtól függően eltérő lehet bár [68][20], de taktikailag mindig hatástalan<sup>10</sup>.

A szóráskép centrumában a túl sok oltóanyag mennyiség okoz gondot, hiszen annak  $5 \text{ l/m}^2$  feletti mennyisége szintén nem vesz részt az oltásban, a növényzet levelein lefolyva a talajra kerül.

Hatásküszöb alatti és feletti veszteségek a kibocsátott oltóanyag kb. 10-25 %-os arányt jelentik.

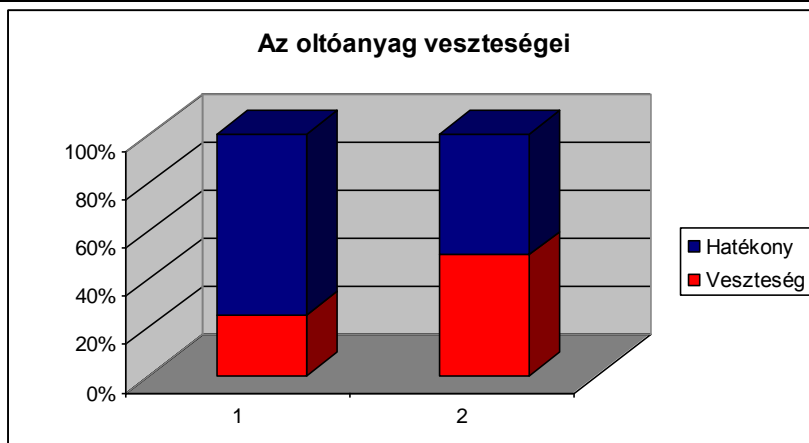
### **Párolgási veszteség**

Amennyiben az oltóanyag kibocsátása nem közvetlenül a tűz frontjára történik, úgy akár jelentős párolgási veszteséggel is számolhatunk, amire az részt vesz a tűz oltásában, vagyis a tűz frontvonala eléri a nedves felületet. A viszonylag magas felületi és környezeti hőmérséklet miatt az apró cseppek nagy felülete gyors párolgást tesz lehetővé, amely meghaladhatja a 25 %-ot is (3. ábra, 1-es oszlop).

### **Egyéb veszteségek**

Az olyan veszteségeket, mint pl. a célba juttatási és téves helyzetmegítélésből adódó, nem veszem figyelembe, hiszen azok egyrészt nem technológia függők, másrészt bárhol előfordulhatnak. A fenti veszteségek összességének átlagos nagysága tartályból történő kibocsátás esetén 25 %-ra, a függesztménynél 50 %-ra tehető (3. ábra, 2-es oszlop).

<sup>10</sup> A szakirodalomban megadott minimális értéke eltér:  $0,5 \text{ l/m}^2$  [68] és  $0,8 \text{ l/m}^2$  [20].



3. ábra Az oltóanyag veszteségei. Forrás: szerző

### A víz oltóhatásának növelési lehetőségei

Az erdőtüzek oltásában érdekelt szakértők, kutatók keresik a víznél hatékonyabb megoldások lehetőségét is. Ilyenek lehetnek a retardánsok, gélek, habok, sőt speciális robbanó oltókészülékek<sup>11</sup>, vagy teljesen újfajta oltóanyagok kifejlesztése<sup>1213</sup> is.

#### Szerkezeti megoldások

A veszteségek elemzéséből látható, hogy azok egy része nyilvánvalóan elkerülhetetlen, másik része - főleg a helikoptereknél - a külső függesztmény alkalmazásával függ össze. Ez utóbbi a Venturi-hatás miatt, a szállítási oltóanyag kb. 30 %-ának elvesztését okozza. Utóbbi, zárt tartály alkalmazásával teljesen kiküszöbölhető, ezért a megjelentek a teherter belsejében elhelyezett, illetve a helikoptertörzs aljára szerelhető lapos fenekű tartályok.

Az I4F technológia szempontjából ez utóbbi, atmoszférikus tartályok tekinthetők technológiai versenytársnak, amennyiben azokkal habbal történő oltást végeznek.

#### Ütőhatás

A víz oltóhatásának növelésére többféle lehetőség is adódik. A gyakorlatban sokszor alkalmazzák az ún. „ütőhatást”. Ebben az esetben a víz kinetikai energiáját hasznosítják, a lángok felületről történő leszakítására; azaz a láncreakció megtörésével az égés megszüntetésére. Ezt a módszert megfelelő körülmények esetén a légi tűzoltás során is alkalmazhatjuk. 180 km/h sebességgel 20 méter magasból történő kibocsátás során 1 kg víznek a mozgási<sup>14</sup> és helyzeti<sup>15</sup> energiájának összege 1,45 kJ, ami eltörlül mind a fajhő, mind a párolgáshő értéke mellett (4. ábra). Ezért ezt a módszert csak helyileg tekinthető hatékonynak, általánosságban a felhasználható potenciális energia szempontjából alacsony hatásfokú, ezért pazarlásnak ítélem<sup>16</sup>.

<sup>11</sup> Pl. Beaextin robbanó oltókészülék, Spanyolország; Embention S.L.

<sup>12</sup> Speciális sókeverék alkalmazása, kutatási projekt, BASF előadás; AFFC 2008. október, Athén, Görögország.

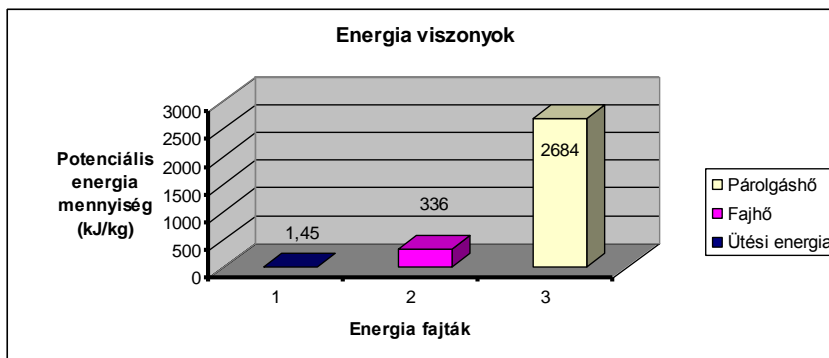
<sup>13</sup> Magyar szabadalomként bejegyzett FireLess fantázianévű oltófolyadék.

<sup>14</sup>  $E_{\text{mozgási}} = 1/2 mv^2$ ; a példában 1250 J

<sup>15</sup>  $E_{\text{helyzeti}} = mgh$ ; a példában 200 J

<sup>16</sup> Mégis érdekes, hogy milyen gyakran kerül alkalmazásra ez a módszer. Ez is azt igazolhatja, hogy a víz potenciális oltási képessége milyen alacsony fokon kerül kihasználásra.



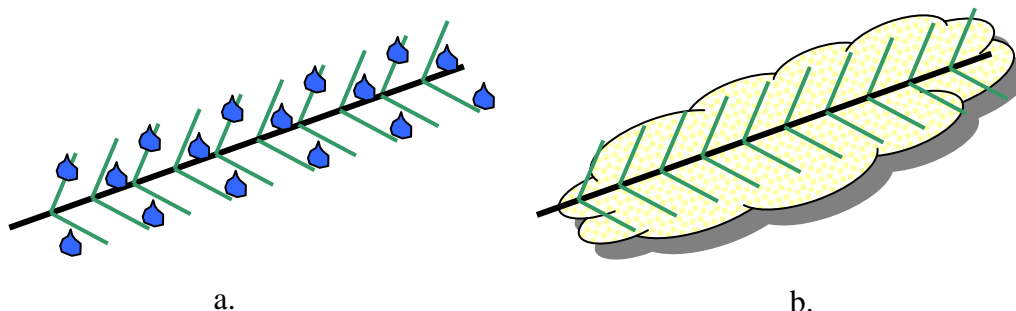


4. ábra A kibocsátott oltóvíz energia viszonyai. Szerkesztés: szerző

### Retardánsok

A víz oltóhatásának egy másik növelési módszere különböző adalékanyagok hozzáadásán alapszik. Az egyik a retardánsok alkalmazása, amellyel a kibocsátott vízmennyiség egyenletesebb eloszlását és kisebb szórási veszteséget lehet elérni (5.a. ábra). A vizsgálataim során az oltóanyag teljes mennyiségének potenciális energia viszonyait (hőelvonó képesség) vettem számba, ezért itt a retardánsok hatékonyságot növelő hatása irreleváns, további elemzést nem igényel.

### Habok



5. ábra Az oltóanyaggal kezelt minták elvi szemléltető rajza. Forrás: szerző

A víz oltóhatásának egy további növelési módszere a habképző anyagok alkalmazásán alapszik. Ezzel elérhető, hogy a vízzel azonos tömegű oldat azonos nagyságú felületre vonatkoztatva ne csak a víz (oldat) hőelvonó képességével számoljunk, de a habnál megjelenő egyéb előnyös oltóhatásokkal is.

A hab a fenyőlomb tűlevelein egy szigetelő réteget hoz létre (5.b. ábra), amely a vastagságtól függően jelentős védelmet nyújthat a hősugárzás ellen. Ez olyan mértékben lassíthatja, vagy csökkentheti a hőterjedés folyamatát, hogy a lombzat már nem képes az égés láncreakciójához szükséges hőtermelést fenntartani, azaz megszűnik az égés. Méréseim és vizsgálataim alapján<sup>17</sup> a szigetelő hatásnak az optimalizálásával elérhető, hogy a víz oltóhatásának szélső értéke jelentősen kitolódjon, és elérje, illetve meghaladja a hatékony oltáshoz szükséges összetett oltóhatás mértékét.

<sup>17</sup> R-20F vizsgálati és R-10A mérési módszer.



6. ábra Légi tűzoltás habbal

A habképző anyagok alkalmazásának lehet egy másik célja is. Amennyiben nem kívánunk habot előállítani, a felületi feszültség csökkentésével növelhetjük a víz oltóhatását. Ez már nagyon kis habképző anyag (<1%) hozzáadásával is elérhető. A habok alkalmazásával a párolgási veszteség is alacsonyabb. A haboknál a vízkiválás természetes jelenség, azonban helyes tűzoltási taktikával „megelőzhető”, azaz a jól megválasztott kibocsátási hellyel a rövid „várakozási” idő miatt eltekinthetünk, vagy minimálisan vehetjük számításba.

A fentiek alapján a további vizsgálatok a hab hatékonyságának növelésére vonatkoznak, azok elméleti igazolását és gyakorlati megvalósításának módját tartalmazza.

## A HABBAL OLTÁS PROBLÉMAKÖRE

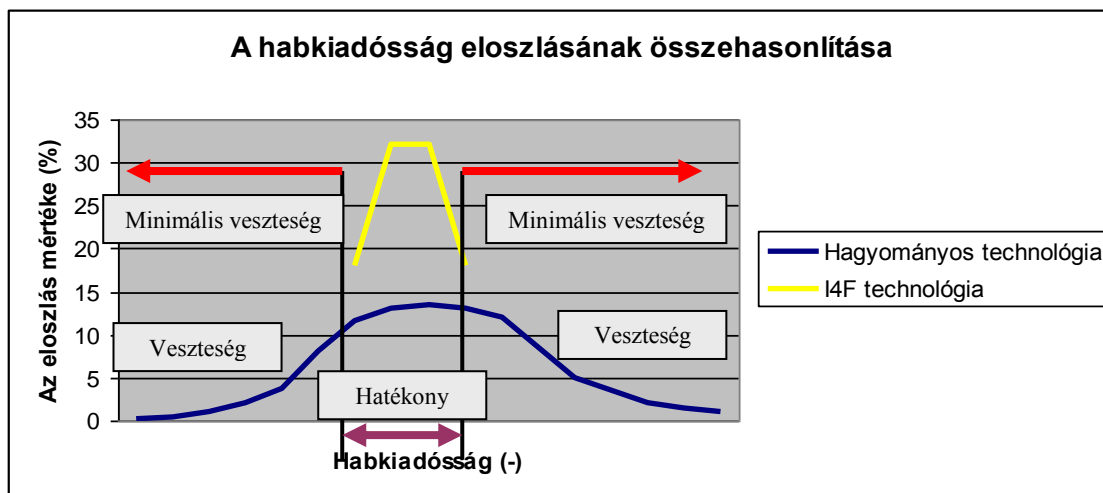
Általános esetben a tüzek oltására a korszerű habok alkalmazása nagyon hatékonynak ítéltető. A víznek, a hozzáadott habképző anyag hatására kisebb felületi feszültsége lesz, így jobban és egyenletesebben képes a felületet takarni, un. nedvesítő hatása van. A hozzáadott mennyiség növelésével, ill. a kijuttató eszköztől függően, többnyire mechanikus ütköztetés által<sup>18</sup> különböző minőségű habot lehet előállítani.

A repülőgéppel történő tűzoltás során is találkozhatunk a habokkal, azonban hatékony alkalmazásuknak számos korlátja van. A jelenlegi módszer szerint a tartályban lévő vízmennyiséghez hozzáadagolják a habképző anyagot, majd az a kijuttatáskor egy rácson, vagy speciális hálón átáramolva, vagy csak a levegővel spontán ütközve felhabosodik. A külső függesztmények esetén a tartályok alá egy un. habzsákot csatolnak, amelynek eredményeként

<sup>18</sup> Habsugárcső, habágyú, habszita, stb. alkalmazásával.

a rajta keresztülamló oldat a levegővel keveredik és képez bizonytalan minőségű habot.

A habok alkalmazásának hatékonyságát számos tényező csökkenti, így az előállított hab heterogén minősége, az oldat bizonytalan és egyenetlen bekeverési aránya, a nem ideális kijuttatási sebesség, stb.



7. ábra A habkiadósság eloszlásának összehasonlítása hagyományos és I4F technológia esetén

A különböző minőségű habok keletkezésük után eltérő módon viselkednek (7. ábra). Az ún. könnyűhabok kategóriájába eső rész a helikopter forgószárny légárama, vagy esetleg a tűz által generált konvekció miatt el sem jut a kívánt felületre. A lombkorona felületére jutó mennyiség fajsúlytól függően viselkedik, a könnyebb részek a lombkorona felső részén megragadnak, a nehezebbek newton-i folyadékként viselkedve lefolynak.

Az oltás szempontjából az lenne a kívánatos, hogy a lombkorona teljes keresztmetszete a lehető legegyszerűbben legyen habbal takarva. Ez utóbbi kívánalom teljesítését a növényzet véletlenszerű eloszlása miatt valószínűleg egyetlen technológia sem képes tökéletesen megoldani, ettől függetlenül az arányokon való javítás a hatékonyság jelentős növekedését jelentheti.

A hab hatékony oltásával szemben támasztott alapvető követelmények:

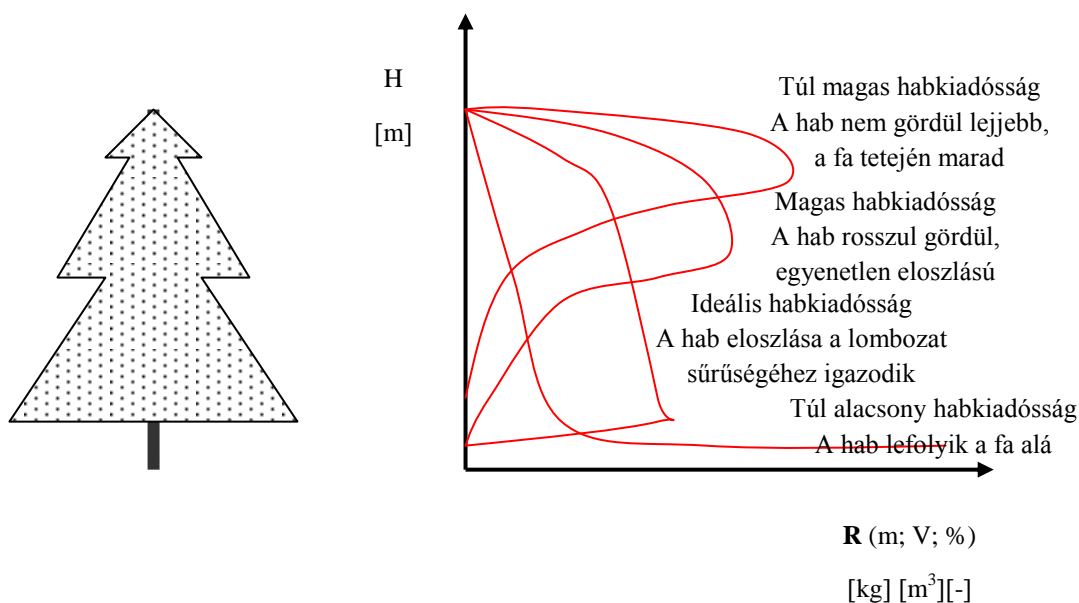
1. A felületre juttatott oltóanyag habkiadóssága képes legyen a lombkoronán megfelelő minőségben át-, ill. lecsorogni, de kellő takarást is biztosítani a lombkorona teljes keresztmetszetében.
2. Az egységnyi felületre kijuttatott mennyiség oltóhatása elegendő legyen a tűz továbbterjedésének megakadályozásához.
3. Az oltóanyag eredeti védőképessége (oldatkiválás) sokáig megmaradjon, illetve az csak lassan csökkenjen.

A fenti problémák összegzése:

1. Olyan habra van szükségünk, amely homogén minőségű, sűrűsége megfelelő ahhoz, hogy a hab kedvező szigetelő tulajdonságait megtartsa, de képes legyen a lombkoronán „lecsorogni” és annak teljes keresztmetszetében a kívánt ideig védelmet nyújtani.
2. A kívánt ideig történő megmaradás feltételét a speciálisan erdőtüzek oltására kifejleszt-

tett habok feltételezéseim, valamint a gyártók adatai alapján képesek teljesíteni<sup>19</sup>.

3. A homogén minőség előállítását a jelenlegi kijuttató módszerek és eszközök csak korlátozottan képesek biztosítani. Ez a habok potenciális oltóképességét csökkenti.
4. A hab kedvező tulajdonságainak megjelenése már viszonylag alacsony habkiadósság<sup>20</sup> esetén is bizonyos ideig fellelhetők.
5. Alacsony habkiadósság esetén a hab megőrzi a Newton-i folyadékokra jellemző folyékonyságát, gördülékenységét.



8. ábra A hab eloszlása különböző  $H_K$  habkiadósság esetén a fa magasságának függvényében Jelleggörbe. Forrás: szerző.

Az I4F technológia biztosítja, hogy a habkiadósság spektruma megfelelően szűk legyen. Ezáltal a 8. ábrán bemutatott grafikon alapján a túlságosan magas és túlságosan alacsony részek okozta jelentős veszteség minimálisra csökken.

A fentiek alapján megállapítható, hogy technológia szempontjából az I4F piaci versenytársának a hagyományos habbal oltást biztosító megoldások tekinthetők. Ez utóbbiak közé sorolható a piac kb. 90-95 %-át lefedő SEI Industry, amely a Magyarországon is alkalmazott ún. Bumbi Bucket vízhatlan zsákokat gyártja. A piac maradék részét 5-6 kisebb gyártó, manufaktúrális üzem termékei fedik le. Ezek közös jellemzője, hogy nagyon egyszerűek, gyakorlatilag olyan függeszmények, amelyek csak egy vízhatlan zsákból és egy csatlakozó elemből állnak.

## AZ I4F TECHNOLÓGIA

### Az instant habbal oltás módszerének adaptálása

Az instant habbal oltás módszere nem új keletű. Megtalálható a kézi habbal oltó készülékeknél, de magyar szabadalomként bejegyezve a szénhidrogén tároló tartályok tűzvédelménél

<sup>19</sup> Pl. PhosChek 881 WD

<sup>20</sup> Habkiadósság,  $H_{kmin} = 5 \div 6$

is<sup>21</sup>. Ez utóbbi szabadalom birtokosa írásbeli hozzájárulását adta a technológia erdőtüzek oltására történő adaptálásához, továbbfejlesztéséhez.

Meg kell jegyezni, hogy oltási képességeit tekintve az instant habbal, valamint a sűrített levegős (CAFS<sup>22</sup>) habbal történő oltás között nem teszünk lényegi különbséget. Ez utóbbi technológia egyik megvalósulási formájának<sup>23</sup> első hazai szakfordítását is jelen cikk szerzője végezte (Vergessen).



9. ábra Az IFEX technológia alkalmazása. Egyszerű és hatékony. Forrás: [www.ifex.hu](http://www.ifex.hu)

### Instant Foam for Fighting Forest Fires – az I4F technológia elve

Egy nyomástartó edényt (6. ábra), tartályt feltöltünk max. 4/5-öd részig vízzel, majd az előírt arányban hozzáadagoljuk a megfelelő mennyiségű habképző anyagot (0,1–6 %). Ezután egy speciális szivattyúval folyékony gázt táplálunk a tartályba mindaddig, amíg a nyomás el nem éri a technológia által megkívánt értéket. A gáz, az adagolás során jelentős mértékben elnyelődik az oldatban. Ezzel gyakorlatilag kész is az oltásra alkalmas instant haboldat.

Az oltás indítása a tartály szelepének teljes keresztmetszetű nyitásával történik. Utóbbi egy pillanat alatt szabaddá teszi az oldat útját, amely a csővezetéken keresztül történő áramlása során gyors nyomásesést szenved. Emiatt, az oldott gáz az oldatból felszabadul, és nagyon intenzíven felhabosítja azt. A folyamatosan felszabaduló gáz hatására a tartályban a nyomás csak lassan csökken, lehetővé téve a folyadék, illetve az instant hab folyamatos és nagy sebességű kiáramlását. A csővezeték végén elhelyezkedő sugárcső után a homogén minőségű instant hab nagy távolságra jut el, úgy áramlik ki, mintha kötött vízsugár lenne.

### Gyakorlati megvalósítás repülőgépekre

A repülőgépre szerelhető változat esetén a legkomolyabb elvi problémát a berendezés teljes, illetve hasznos tömege (szállítható oltóanyag) kedvező arányának biztosítása jelenti<sup>24</sup>. Napjainkban a hasznos tömegarány növelésének bevált módja, könnyű kompozit anyagból készült oltóanyag tároló tartály beépítése. Ez a költségeket jelentősen növeli, de a technológia hatékonysága miatt összességében mégiscsak előnyösebb és gazdaságossági szempontból is hatékonyabb megoldás.

<sup>21</sup> Dr. Szócs István, IFEX cégesoport, Budapest

<sup>22</sup> CAFS – Compressed Air Foam System; Adaptálása légi tűzoltásra technikai problémák miatt nem lehetséges.

<sup>23</sup> Schmitz One Seven System

<sup>24</sup> A felszínre telepített változatoknál a tartály saját, valamint töltetének tömegaránya nem jelent problémát.

Az alkalmazni kívánt tartály üzemi nyomása kb. 15÷22 bar közötti, kb. 30 bar-nál nyitó biztonsági szeleppel, az előző nyomásértékekhez előírt szabványos, kb. 40÷45 bar-os próba- és az üzemítői- kb. négyszer nagyobb felhasadási nyomással.



10. ábra M-17 többcélú helikopter. Az I4F technológia alkalmazásának tervezett alaptípusa

A tartályhoz kapcsolódó csővezetékeket úgy tervezik meg (átmérő, hossz, anyagminőség, nyomásállóság), hogy az oltóhab kívánt fizikai és minőségi jellemzői biztosíthatóak legyenek. Az oltófolyadék kiáramlása taktikai megfontolások alapján határozzák meg. A kiáramlást biztosító csővezeték átmérőjének és hosszának, valamint ezek arányának elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy az oldatból a gáz felszabaduljon és a kívánt minőségű instant hab a csővezeték végén kialakuljon. A kiáramlás jellemzőivel biztosítható a növényzet felületén a 15 kg/m<sup>2</sup> oltóanyag mennyiséget. Nagyobb repülési sebesség egységnyi idő alatt így nagyobb kiáramló oltóanyag sebességet kíván, és fordítva. A helikopterek esetében a kiáramló keresztmetszet azonos nyomásviszonyok esetén kisebb lehet, míg repülőgépeknél nagyobb. A repülési paraméterekhez igazított kiáramló keresztmetszet méreteit a megvalósítás során empirikus mérésekkel kívánjuk meghatározni.

A berendezéseknek meg kell felelniük továbbá a repülés biztonságát szavatoló ICAO előírásoknak is. Mivel a repülőgépeken és helikoptereken egyébként is vannak nyomástartó edények, szabványos rögzítő pontok és nyílások, ezért valójában csak a kialakítandó tartályt, valamint annak tartozékait kell az előírásoknak megfelelően elkészíttetni. A tervek alapján a rendszer dinamikus hatásainak minimálisra csökkentése érdekében a tartály rögzítését a helikopter súlypontjához közel, a helikopterek hajtóműveinek rögzítésére is szolgáló főtartóhoz kívánjuk rendelni.

A mintarendszer alaptípusként a Mi-17 többcélú helikopter alkalmazásával számol. Ezt olyan megfontolások indokolták, mint az elterjedtség, legyártott és alkalmazott darabszám, a kísérletekhez való hazai elérhetőség, stb. A mintarendszer összeállításához a következő berendezésekre van szükség:

- acél, majd kompozit anyagból készült nyomástartó edény, tartály (3000 l Mi-17);
- elektromos működtetésű szelep;
- csővezeték, kiegészítő szerelvények, nyomásmérők, szelepek, tartozékok;
- speciális sugárcső.

A megfelelő habminőség és sugárkép kialakításához a csővezeték, valamint a sugárcső formája, méretezése később kerül meghatározásra. Mivel részben rendelkezünk a felszíni telepítés és alkal-

mazás gyakorlati tapasztalataival, így a tervezésnek a jelenlegi fázisában ez utóbbiak nem jelentenek akadályt a megvalósításban. A kísérletek eredményei alapján ezekre spontán is születhet javaslat.

Tűzoltáskor, a minél gyorsabb fordulókörök megtétele, valamint a fölösleges idővesztés elkerülése érdekében célszerű a repülőgép tartályába már a kész instant habot beletölteni. Ez technikailag nem bonyolult, és jelenleg a következőképp tűnik a legegyszerűbbnek: egy gépjárműre vehető speciális konténerbe két olyan acéltartály kerül telepítésre, amelyek a hozzájuk kapcsolódó berendezésekkel a repülőgépek fordulókörrei alatt előre elkészíthetik az instant oltóhabot. Így a leszálló légi járműbe egy gyors rácsatlakozás után az előre elkészített instant hab nyomás alatt a szükséges mennyiségben áttölthető. Ennek végén a repülőgép felszállhat. Bár ez a megoldás logisztikai háttértámogatást igényel, jelentősen mégsem növeli a költségeket, hiszen az ilyen többlettámogatásra az eddigi hagyományos megoldásoknál is szükség volt, illetve van.

A fenti módszerrel a helikopterek felszállást követő gyorsítása – amennyiben nincs külső függesztmény – a légpárna hatás zónájában történhet, lehetővé téve a maximális terhelhetőség optimális kihasználását.

## ÖSSZEZÉS

Az I4F technológia olyan új eljárást, amellyel a jelenlegi megoldásoknál jelentősen hatékonyabb oltási képességekre tehetünk szert. E módszer biztosítja, hogy a felületre kijuttatott oltóanyag a jelenleg elérhetőnél lényegesen nagyobb mennyiségű legyen, ami ezzel arányosan nagyobb hőelvonó képességet, sőt a homogén minőségű hab további előnyöket is biztosít, amely egyrészt a veszteségek jelentős csökkenésében, másrészt az R-20F vizsgálatok által igazoltan többlet oltóhatásban nyilvánul meg.

Az I4F technológia magyar szabadalom alapján továbbfejlesztett – várhatóan újabb szabadalom bejelentésével záruló – megoldás, amely a globális klímaváltozás okozta szélsőségek egyik megnyilvánulására, a nagy kiterjedésű intenzív erdőtüzek hatékony oltására kíván megoldást nyújtani.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CSONTOS, Péter (et.al.): Feketefenyveseink kutatása, Tanulmány, MTA-ELTE Elméleti Biológiai és Ökológiai Kutatócsoport, Budapest, 2007.
- [2] NAGY Dániel: A közvetlen taktika korlátainak fizikai/égéselméleti háttere. Védelem, XIV évfolyam 6. szám, 7-9 oldal, Budapest, 2007, ISSN 1218-2958.
- [3] RESTÁS Ágoston: Az erdőtüzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése. Ph.D. értekezés. ZMNE 2008.
- [4] JAMBRIK Rudolf: Légi támogatás nélkül nehéz lett volna, Védelem, XIV. Évfolyam 6. szám, 51-53 oldal, Budapest, 2007, ISSN: 1218-2958
- [5] RESTÁS Ágoston: Vergessen Sie alles was Sie bisher über Schaum gehört haben – Felejtsen el mindent, amit eddig az oltóhabról hallott; Fordítás-kézirat, BM Katasztrófavédelmi Oktatási Központ, Tűzoltó Szakkönyvtár, 1998, Budapest

Dr. Szabó Sándor András<sup>1</sup>

## „ÖREG PILÓTA NEM VÉN PILÓTA” ÉLETTANI KORLÁTOZÓ TÉNYEZŐK ÉS SZELLEMI TELJESÍTMÉNY AZ ÉLETKOR FÜGGVÉNYÉBEN A PILÓTA ÉS AZ U(C)AV OPERÁTOR MINŐSÍTÉSE SZEMPONTJÁBÓL<sup>2</sup>

*Maga az öregedés nem betegség, de a vele járó természetes élettani hanyatlás (elsősorban az érzékszervi teljesítmény és a mozgásszervek funkcionális állapota, valamint a hypoxia és G-tűrőképesség szempontjából), továbbá a betegségek növekvő kockázata a repülési lehetőségek folyamatos újraértékelését teszi szükségessé az életkor függvényében. Hiszen miközben nagymértékben csökkent a technika meghibásodásából adódó légibalesetek száma, eközben egyre nagyobb hangsúlyt kap az emberi hibából bekövetkező légikatasztrófa.*

*A cikkben kiemelem a legfontosabb élettani változásokat az életkor előre haladtával, értékelem az ennek függvényében változó hirtelen cselekvőképtelenségi kockázatot (1 %-os szabály). Elemzem a pilóták szempontjából a speciális, extrém környezeti és élettani terheléssel járó munkavégzés, mint stressz forrás potenciális egészség károsító hatását a különböző szervrendszerek esetében, párhuzamba állítva az U(C)AV {Pilóta nélküli (Harci) Légijármű} operátor szellemi teljesítményének követelményeivel és ennek esetleges korral járó hanyatlásával.*

### „OLD PILOT IS NOT CRIPPLED PILOT”

#### PHYSIOLOGICAL LIMITATION FACTORS AND MENTAL PERFORMANCE IN FUNCTION OF AGE REGARDING PILOT AND U(C)AV OPERATOR QUALIFICATION

*Ageing process is not a disease itself, but the natural decrement of physiological performance (specially focusing on sensory performance, locomotorium functional state, hypoxia and G-tolerance) is obvious. The increased risk of diseases inevitably requires the continuous reevaluation of flying capabilities and skills in function of increasing age. While there is an overall decrease in number of air mishaps resultant from technical failure, there is an enhanced emphasis on air disasters caused by human errors.*

*Analysing the most important physiological changes in function of age I am going to evaluate the risk of sudden incapacitation, in the frame of „1 % rule”. I am going to analyse the potentially harmful effects of extreme working (environmental and physiological) conditions (as sources of stress) on different systems of organs, drawing a parallel between the special requirements of pilot and UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle) operators, discussing their possibly age-related deterioration.*

## BEVEZETÉS

A repülés ma már nem csak a fiatalok kiváltsága és joga: ahogy fejlődik a repülőtechnika, a különböző rendeltetésű (sport-rekreációs, kereskedelmi és utasszállító) repülőeszközökön egyre nő az idősebb repülőszemélyzet aránya: például az amerikai Polgári Repülésügyi Hatóság (FAA) felmérése szerint már 1991-ben az USA civil pilótáinak több, mint 50 %-a volt idősebb 40 évnél.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> o. alezredes, Ph.D., MH Honvédkórház, Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Kutató Intézet, Kecskemét, sasi19620@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Grósz Andor orvosdandártábornok, CSc, intézetparancsnok, MH Honvédkórház Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Kutató Intézet Kecskemét

<sup>3</sup> COOKE, J: Chapter „The ageing pilot” in Ernsting’s Aviation Medicine. Ed.: D.J. Rainford, D.P. Gradwell



A fejlett repülőiparral és repülési kultúrával rendelkező országokban a várható élettartam növekedése és a felhalmozott tudás és repülési tapasztalat hasznosításának igénye a hajózóállomány körében is a professzionális karrier kiterjesztésének irányába hat. Ez a tendencia természetesen legkevésbé a szervezetet rendkívül igénybe vevő katonai repülést érinti: a repülésbiztonság alapvető szempontjait itt nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A korrallal együttjáró kockázatok fokozódása, diagnosztikai-kezelési lehetőségeik, a fennálló állapotok – klinikai betegségek megjelenése és progressziója komoly megfontolásokat indokol a repülés életkori felső határának megállapításában, akár a katonai, akár a polgári repülésben. Nagy népességre vonatkozó statisztikák szerint 35 éves kor fölött a kor előre haladtával nő az összhalálozás, egyéb súlyozott (major) kockázati tényezők nélkül is (például dohányzás, elhízás, magas vérnyomás). Az általános populációkban természetesen vizsgálják egyéb (hozott, genetikailag meghatározott, veleszületett) tényezők szerepét:

1. hangsúlyozzák a nem szerepét (női nem bizonyos védelemet jelent a változások menopauza koráig az érlelésesedéssel szemben);
2. kiemelik a pozitív családi kórelőzmény kockázati szerepét (50 év alatti hirtelen szívroham a család egyenes-ági leszármazottaiban önmagában növeli a szívbetegség kockázatát);
3. etnikai tényezők jelentőségét vetik föl (rasszok között jelentős eltérés lehet a só-víz háztartás egyensúlyának szabályozásában, így a magas vérnyomás kialakulásának mechanizmusa afroamerikai népcsoportban eltérő lehet);
4. természetesen hangsúlyozzák az életmód-táplálkozás kockázati szerepét (elhízás, magas sótartalmú, kalória- és szénhidrát-dús ételek) például az érlelésesedés és cukorbetegség kialakulásában;
5. szintén az életmód kapcsán fölvetik az általános stressz terhelés illetve a stressz kezelésének, személyiségfüggő romboló hatásának szerepét pl. a szív-érrendszeri betegségek kialakulásában, bár ennek pontos, mennyiségi jellemzése még nem megoldott.

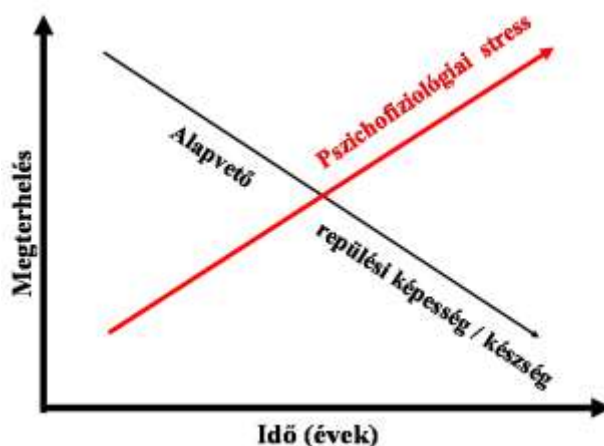
Kevésbé ismert a munkavégzés, a konkrét munkafeladatoknak és a **munkahelyi környezeti stressz tényezőknek** a direkt hatása a várható élettartamra (leszámítva természetesen a veszélyes anyagok expozícióját, ahol azok környezeti vagy biológiai monitorizálása, a munkavállalók rendszeres szűrővizsgálata biztosítja, hogy időben megakadályozzuk a foglalkozási betegség kialakulását.)

Repülési környezetben Booze felmérése szerint az általános közforgalmi („kisgépes”) pilóták általános halálozási mutatói jobbak, szív (koszorúér) betegségre kevésbé hajlamosak, mint a hasonló korosztály az általános népességben („földi halandók” között).<sup>4</sup> Ez első hallásra nem meglepő: egy olyan népesség csoportról van szó, mely már a kiválogatás során egészségügyi szempontból erősen szelektált (számos betegség, vagy betegség megelőző állapot nem összeférhető a repüléssel) és rendszeresen, egész repülő karrierje során egészségügyi ellenőrzésem, éves-féléves minősítésen kell részt vennie. (Egy hivatásos pilóta élete folyamán kb. 100 szakorvosi vizsgálaton vesz részt!) Ezek a rendszeres szűrések elősegítik a rizikófakto-

Hodder Arnold 4. Kiadás, 2006, 785. o.

<sup>4</sup> BOOZE C.F.: Sudden in-flight incapacitation in general aviation . Aviation, Space and Environmental Medicine 1989; 60: 332-335 o.

rok korai azonosítását, a betegség korai stádiumában történő kiemelését és teljes gyógyítását, majd repülőstátuszának helyreállítását: ezzel a preventív szemlélettel a pilóta sokáig rendszerben tartható. (Az általános kardiológia is sokat profitál a relatíve homogén, egészséges pilóta populáció vizsgálatából, vagy kontroll csoportként történő alkalmazásából: az egyik legelső és legnagyobb koleszterin (vérzsír) csökkentő tanulmány (AFCAPS) az Amerikai Légierő repülőbázisain készült, kimutatva, hogy még közepesen magas koleszterinszint és szív-érrendszeri kockázat mellett is jótékony hatású a koleszterin szint gyógyszeres csökkentése.)<sup>5</sup>



1. ábra Változó kihívások, változó követelmények

Bár amerikai hivatásos pilóták felvetették, hogy a repüléssel járó, általuk érzékelt stressz önmagában káros az egészségre és csökkenti az élettartamot, ez nem igazolódott: az Amerikai Polgári Légügyi Hivatal (FAA)<sup>6</sup> tanulmánya megállapította, hogy a nyugdíjba vonuló pilóták (American Airlines légitársaság) 60 éves kor után szignifikáns különbséggel tovább élnek, magasabb életkort élnek meg.<sup>7</sup> Úgy tűnik, az életkor önmagában kisebb megbetegedési-halálozási rizikó tényező a pilóták körében, mint az általános (hasonló korú) népesség csoportban. Ugyanakkor nem tagadható, hogy az életkor komoly hatással van a repülési alkalmasság szempontjából legfontosabb szervrendszerekre, mind azok funkcionális terhelhetőségére, mind az életkorfüggő anatómiai-strukturális elváltozásaira tekintettel. A pilóta által megélt és műszeresen, pszichológiai tesztekkel igazolható stressz szint az életkor előre haladásával nő, miközben az élettani teljesítménnyel összefüggő alapvető repülési képesség (terhelhetőség) csökken. (1. ábra)

## ÉLETKOR ÉS A SZÍV-ÉRRENDSZERI BETEGSÉGEK

Az általános népességben a szív-érrendszeri, korrally növekvő halálozás komoly népegészségügyi probléma. Ennek alapja az érrendszer egészét érintő érelmeszesedés, mely a szív saját érellátását, a koszorúsereket is érinti. Az érelmeszesedés fiatal korban megkezdődik és szervi lokalizációtól füg-

<sup>5</sup> DOWNS J.R., CLEARFIELD M., TYROLER H.A., WHITNEY E.J., KRUYER W. et al: Air Force/Texas Coronary Atherosclerosis Prevention Study (AFCAPS/TEXCAPS): Additional perspectives on tolerability of long-term treatment with lovastatin. Am J Cardiol. 2001 May 1;87(9):1074-9.

<sup>6</sup> FAA: Federal Aviation Authority

<sup>7</sup> BESCO R.O., SANGAL S.P., NESTHUIS T.E.: A longevity and survival analysis for a cohort of retired airline pilots. Final Report. Washington, DC: Federal Aviation Administration Office of Aviation Medicine, 1995.

gően hamar tüneteket okozhat.<sup>8</sup> A folyamat már a 20-as években elindul, Vietnamban lelőtt amerikai pilóták boncolási eredményei is alátámasztják. Mikor válik ez a folyamat életveszélyessé?

A légügyi hatóságnak pedig a repülőorvosi alkalmasság elbírálásakor nemcsak a ténylegesen végzetes kimenetelű szív-érrendszeri történést (szívizom elhalás – infarktus, ennek kapcsán súlyos ritmuszavar, esetleg balkamra elégtelenség) kell figyelembe venni, hanem az „enyhébb”, kevésbé súlyos, de fájdalommal és ezért figyelem beszűküléssel járó tünetek lehetőségét is, például a szív koszorúerek csökkent vérellátása miatti mellkasi fájdalom (angina) lehetőségét. Ha ez a repülés kritikus fázisában jelentkezik, ugyanúgy pillanatnyi cselekvőképtelenséget okoz, mint a végzetes, halált okozó infarktus, miközben a strukturális rendellenességet (a koszorúér körülírt elmeszesedését, plakkját) nehéz pontosan behatárolni.

Repülési környezetben a magassággal együttjáró oxigénhiány és a repülési stressz hatására hirtelen még kezdeti, „lágy plakkok” is berepedhetnek, a kialakuló vérrög pedig elzárhatja az életfontosságú szív koszorúeret, akár előzmények nélkül. (Afganisztánban HH 60 G MEDEVAC<sup>9</sup> helikopter zuhant le hatfős személyzettel a fedélzetén; a térbeli dezorientáció mellett erősen felmerült a 39 éves, korábban teljesen egészségesnek tartott pilóta akut cselekvőképtelensége a mellkasi fájdalom miatt. A szív koszorúerein a boncolás során ugyanis a bal főtörzsön – a balkamrát ellátó fő ágon! – 95 %-os szűkületet találtak.)<sup>10</sup> A pilóták megbetegedési statisztikája, halálozási mutatói az általános népesség betegségi jellemzőivel mutat hasonlóságot: a kor előre haladtával fokozódik a szív koszorúereiben az érlelmeszesedés. A közforgalmi repülésben egyébként még aktív (tehát tünetmentes!) pilóták 43 %-ánál komoly, kórbonctanilag értékelhető elváltozás volt kimutatható<sup>11</sup>. A folyamat – a hirtelen szívhalálhoz vezető koszorúér-elmeszesedés – kockázati szintjének jellemzésére angol szív specialisták a polgári repülésre vonatkozóan kifejlesztették az ún. „1 százalékos szabályt”<sup>12</sup>, amely kétkormányos korszerű utasszállítógépen az egyik pilóta hirtelen teljes cselekvőképtelensége esetén matematikai levezetéssel meghatározza, hogy milyen szív-érrendszeri rizikó profil (azaz halálozási arány ezrelékben kifejezve) fogadható el egy pilótánál. (Feltételezve, hogy a kétkormányos gépen a másodpilóta jó eséllyel át tudja venni a gép irányítását még a repülés kritikus fázisaiban is, azaz felszálláskor vagy leszállás közben<sup>13</sup>.) (2. ábra)

<sup>8</sup> STRONG, J et al.: Prevalence and Extent of Atherosclerosis in Adolescents and Young Adults. JAMA. 1999; 281: p. 727-735.

<sup>9</sup> MEDEVAC: Medical Evacuation: (légi) egészségügyi kiürítés

<sup>10</sup> ALDINGER, C., DUNHAM, W.: Possible heart attack cited in U.S. Afghan crash WASHINGTON, July 3 (Reuters), url: <http://www.afghanistannewscenter.com/news/2003/july/jul42003.html>, (2008. március 13.)

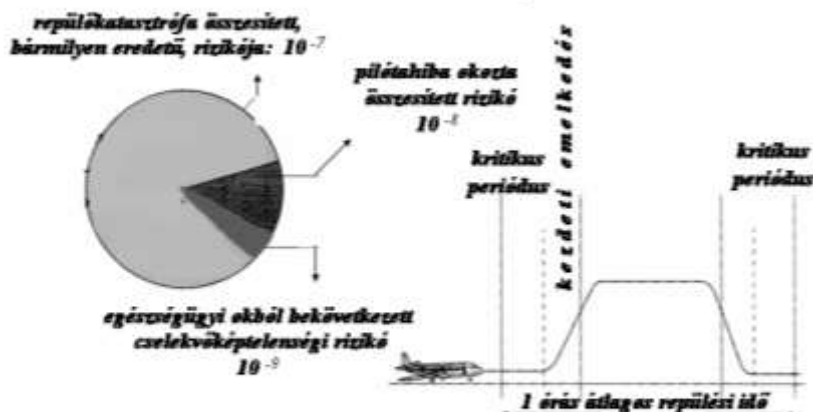
<sup>11</sup> TANEJA, N., WIEGMANN, D.A. : Prevalence of Cardiovascular Abnormalities in Pilots Involved in Fatal General Aviation Airplane Accidents . Aviat Space Environ Med 2002. 73. p. 1025-30.

<sup>12</sup> TUNSTALL-PEDOE, H.: Cardiovascular risk and risk factors in the context of aircrew certification. European Heart Journal 1992; 13. , Supplementum H, 16-20. o.

<sup>13</sup> JOY, M.: Cardiological aspects of aviation safety – the new European perspective. European Heart Journal., 1992., 13., Supplementum. H , 21-26. o.

## REPÜLÉS ALATTI CSELEKVŐKÉPTELENSÉG MEGOSZTLÁSA

számvetés az 1 %-os szabályhoz



pilóta cselekvőképzetlenségi gyakorisága  
(inaktivitációs rátája)  $1/10^6$  óra, kb 1% évente

2. ábra Számvetés az 1 százalékos szabályhoz<sup>14</sup>

E szerint, ha a pilóta **bármely betegségből adódó** éves halálozási kockázata 1 % alatt marad, akkor az utasszállító gép másik pilótája gond nélkül át tudja venni a repülési feladatokat. (Ez az alapszabály egy brit populációban elfogadható, ahol szív-érrendszeri események éves kockázata csak 60-64 éves kor között haladja meg az 1 %-ot, más Kelete-Európai népeknél sajnos ettől a népegészségügyi mutatótól még messze vagyunk....) Ennek ellenére, az utólagos (kórbonctani) elemzések még mindig azt mutatják, hogy közforgalmi repülésben a katasztrófa messze leggyakoribb egészségügyi oka a szív-eredetű cselekvőképzetlenség.<sup>15</sup> (1. táblázat)

Kategória	Összes baleset	Egészségügyi okok		
		SZÍV érrendszeri	Egyéb	Összes (%)
Vitorlázó	67	6	2	8 (12)
Magán	375	9	17	26 (7)
Kereskedelmi	114	4	1	5 (4)
Katonai	407	3	5	8 (2)
Ejtőernyő/ siklóernyő	37	0	0	0
<b>ÖSSZES</b>	<b>1000</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>47 (4,7)</b>

1. táblázat Egészségi tényezők szerepe a végzetes légibalesetekben, repült típus szerint

Bár maga a kórbonctani lelet sokkal gyakrabban előfordul (56-60 év közötti pilóták 70 %-ban

<sup>14</sup> ERNSTING, J. (Ed.): Aviation Medicine Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, 223-224 o.

<sup>15</sup> CULLEN, S.A., DRYSDALE, H.C., MAYES, R.W.: Role of medical factors in 1000 fatal aviation accidents: case note study, British Medical Journal 1997;314:1592, [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2126794/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2126794/), (2012. március.12)

a koszorúér-elmeszesedés már súlyos fokú), de a végzetes balesetek bekövetkeztében tényleges oki-járulékos szerepe ennél sokkal kisebb mértékű. A probléma kezelésében a legfontosabb minden járulékos, további kockázatot hordozó rizikófaktor kiküszöbölése: a legfontosabb a dohányzás elhagyása, a vérnyomás helyes beállítása.

Mai korszerű gyógyszerekkel, kombinációkkal gyakorlatilag mellékhatás nélkül kezelhető, beállítható a vérnyomás. Ezek mellett a bátrabb vérsír (koleszterin) csökkentés is igen hatásos, akár tünetmentes egyéneknek is ajánlható. Ezzel a pro-aktív kockázatelemzéssel magyar pilótapopulációban lényegesen tudtuk csökkenteni az általános kockázati szintet (elhízás, test zsírtartalom, koleszterin vérsír, vérnyomás normalizálása).<sup>16</sup> (2. táblázat)

**RIZIKÓFAKTOROK CSÖKKENTÉSE  
PILÓTAPOPULÁCIÓBAN  
a teljes populáció százalékában (n=250)**

	1994	1999	2004
<b><u>NEM MÓDOSÍTHATÓ:</u></b>			
kor (átlegkor - évek)	33.0	38.0	41.0
Pozitív családi kórelőzmény	25.0	25.0	25.0
Pozitív személyes kórtörténet	1.0	1.0	1.0
<b><u>ÉLETMÓDDAL BEFOLYÁSOLHATÓ RIZIKÓ</u></b>			
túlsúly			
BMI* >25.0	40.8	43.6	37.4
BFP* >20.5	31.8	25.8	23.1
Dohányzás	31.7	29.5	27.0
Csökkent fizikai aktivitás	23.9	21.8	19.2
<b><u>GYÓGYSZERES KOCKÁZAT CSÖKKENTÉS</u></b>			
vérnyomás > 145/90 Hgmm	14.7	16.3	8.2
Koleszterin > 5,20 mmol/l	53.9	53.7	53.3
HDL-koleszterin < 1,00 mmol/l	13.1	28.4	6.5
Triglyceride > 2,3 mmol/l	20.5	21.1	20.0
Csökkent cukortolerancia vagy cukorbetegség	1.3	0.8	0.5
EKG eltérés	1.3	1.3	1.6

2. táblázat Szív-érrendszeri kockázat csökkentés magyar pilóta populációban

Az Európai (Polgári) Repülési Hatóságok Szervezete (JAA)<sup>17</sup> vizsgálati protokolljába már beépítette a koleszterin szint meghatározását, aktív gyógyszeres kezelést lehetővé tette. A NATO-n belül az RTO/AGARD mérlegelte a leggyakoribb betegségcsoportokat, és a magasvérnyomás betegség, magas vérsír szint, gyomorsósav túltengés-fekélybetegség, allergiás szénanátha klinikai diagnózisa esetén - jól behatárolt körülmények között - a gyógyszeres kezelést nem zárta ki. Kérdőíves módszerrel összesítette a NATO országokban leggyakrabban kipróbált, egyedileg engedélyezett gyógyszereket és a lista, valamint repülőorvosi megfontolások alapján közös ajánlásokat fogadott el.<sup>18</sup> Legszélesebb körben a leggyakrabban előfordu-

<sup>16</sup> GRÓSZ, A., SZABÓ, S. A., TÓTKA, ZS., TÓTH, E., VÁMOSI, Z., KADA, S.: Diagnostic and Therapeutic Possibilities in Cardiovascular Risk Management of Flight Personnel. International Conference on Aerospace Medicine and 1<sup>st</sup> Annual International Forum on Disaster Medicine . Kassa, 2004. június 15-18.

<sup>17</sup> JAA: Joint Aviation Authorities: Európai Közös Repülési Hatóságok Szervezete

<sup>18</sup> Research and Technological Organization: Kutatási és Technológia Szervezet: RTO-TR-014 : Medication for Military Aircrew: Current Use, Issues, and Strategies for Expanded Options. RTO-TR-014 , AC / 323 (HFM-014) TP / 14, ISBN 92-837-1063-0, the RTO Human Factors and Medicine Panel, 2001 június

ló és a fokozott érlemeszesedés miatt számtalan szövődménnyel fenyegető betegségek, a magasvérnyomás és magas vérszír szint gyógyszeres kezelésének lehetőségét vizsgálták. A kérdőíves módszer szerint az egyes tagországok több mint 25 vérnyomáscsökkentő hatóanyagot, valamint 17 vérszírcsökkentő szert próbáltak ki az. A klinikai vezérelveknak megfelelően ebből dolgoztak ki ajánlást.

## ÉLETKOR ÉS AZ ÉRZÉKSZERVEK MŰKÖDÉSE

### LÁTÁS

A repülés közben a pilóta által felfogott és értékelt információ 80 %-a vizuális információ. A látási információ gyűjtés folyamatát pedig munkavégzésként foghatjuk fel, amelynek effektivitása alapvetően meghatározza a pilóta-repülőgép-külső környezet együttes működését,<sup>19</sup> katonai bevetés során a harc sikerességét. („...a légi harc alfája és omegája: elsőnek megpillantani az ellenséget.”<sup>20</sup>)

Az életkor függvényében (gyakorlatilag már 40 éves kortól) a szemlencse rugalmassága, fókusz-távolságának adaptív változtathatósága csökken, időskori távollátás alakul ki. Ez szemüveggel a közeli és köztes látótávolságban jól korrigálható, biztosítva a műszerfali kijelzők éleslátását. Ez a megoldás a nagyteljesítményű, agilis jet harci gépek kivételével mindenki számára kényelmes, elfogadható megoldást jelent (számukra a lágú kontaktlencsék fejlesztése hozhat kompromisszumot). A látótér beszűkülése is lassan kezdődik, 55 éves kor után felgyorsul, 65 éves korra a normális 190 °-ról 140 °-ra csökken.<sup>21</sup> Ez a folyamat a látómező tudatos pásztázásával (szkennelésével) ellensúlyozható, bár csökkent megvilágítás mellett a dinamikus látóélesség (mozgó tárgyak fókuszálása, sötét adaptáció) romlik. A kor befolyásolja a kontrasztérzékenységet és a mélységbeli érzékelést is.

Egyéb igazán progresszív kór a szürkehályog (szemlencse homály), zöldhályog (növekvő szemnyomás a szemfenék képleteire romboló hatást fejt ki) és a sárgafolt (szín és éleslátásban kulcsfontosságú ideghártya terület) elfajulása. Az első kettő akár gyógyszeresen befolyásolható, kezelhető, szükség esetén műtéttel korrigálható – és így a polgári repülésben megszorításal a repülési alkalmasság (gyakori ellenőrzés mellett, enyhe esetekben) fenntartható, az utóbbi viszont egyértelműen letiltást indokol.

### HALLÁS - EGYENSÚLYOZÁS

A repülőgépipar és közlekedés a legzajosabb foglalkozási ágazat, igen gyakori nemcsak a kor függvényében „természetes” időskori nagyothallás, hanem fokozottan jelentkezik a zaj okozta halláskárosodás<sup>22</sup>. Ennek hátterében a belsőfül halló érzékszerveinek (szőrsejtjeinek) pusztulása, a hallócsontocskák károsodása és a belsőfül speciális meszesedése (otosclerosis) állhat. A

<sup>19</sup> GRÓSZ, A.: A katonai repülő-hajózó állomány vizuális munkavégzőképességének mérési tapasztalatai. Kandidátusi értekezés, 1991, Budapest. p.7.

<sup>20</sup> Adolf Galland ász pilóta

<sup>21</sup> Új-Zélandi Polgári Légügyi Hatóság kiadványa, 2010. március/április, <http://www.glidering.co.nz/sites/glidering.co.nz/images/documents/Training/TheAgeingPilot.pdf>, (2012. március 21.)

<sup>22</sup> NIHL: Noise induced hearing loss. – zaj okozta hallásvesztés

korszerű zajcsökkentő, beszédkiemelő fej-fulhallgatók és védők biztosíthatják a kommunikáció szempontjából kiemelt beszéd tartomány érthetőségét. (Normálisan a hallásvesztés 8-16 kHz közötti frekvencia tartományt, az igazán magas hangok sávját érinti először, lassan terjed rá a beszéd szempontjából kritikus 500 – 3 000 Hz közötti frekvenciákra. Az életkorral nőhet a belsőfül keringési zavara által okozott egyensúlyvesztés, szédülés lehetősége is, mely értágító (infúziós) kezeléssel az esetek jelentős részében egyensúlyban tartható.

## MENTÁLIS TELJESÍTMÉNY

A szellemi teljesítmény a korról szintén hanyatlást mutat, ennek kezdeti időpontja, üteme teljesen individuális. Idősebb pilótákon végzett kísérletek elsősorban a szimulátorban illetve pszichometrikus műszereken mutatott teljesítmény csökkenését mutatták ki, kezdetben lassú, de progresszív jelleggel a reakcióidő, az összetett (választásos) reakcióidő romlott.<sup>23</sup> Ugyanakkor mások vitatják, hogy ennek a valós repülési teljesítményre szignifikáns mértékben rontó hatása lenne, illetve hajlamosabbak lennének légibaleset okozására.<sup>24</sup> A repülésben eltöltött évtizedek, a megszerzett gyakorlat, rutin, időkényszerben végzett stressz menedzselés és döntéshozatali képesség ellensúlyozza a kisebb mértékű szellemi teljesítmény csökkenést. Az agyi funkció megítélésében használatos a „folyékony” és „kikristályosodott intelligencia” kifejezése: míg a fluid (folyékony) intelligencia, az absztrakt gondolkodás és érvelés képessége az életkorral csökken, a kristályos intelligencia és memória (a múltbeli tapasztalatokból való tanulási képesség) változatlanul megmarad és akkumulálja az új tudást és ismereteket.<sup>25</sup> Ez az intelligencia segíthet a veszélyhelyzetek anticipálásában, észbeli előre vetítésében és a korrekt reakciók időbeli kivitelezésében is (mintegy előre lejátszva az esemény legvalószínűbb forgatókönyvét).

A személyiség is változik a kor előre haladtával, merevebbé (rigidebbé), szokásvezéreltté („rabjává”) válik. Emiatt a típus váltás, feladatkör váltás idővel már nehezebben megy. (A320 átképzés során a 49 év fölötti pilóták a konverziós tanfolyamon 20 %-ban már nem teljesítik a vizsgakövetelményeket.<sup>26</sup>) Kedélybetegség, a hangulati élet súlyosabb zavara, depresszió-szorongás is kialakulhat a halmozódó (munkahelyi vagy családi) stressz miatt. Ilyenkor a mentális teljesítmény – a lelki tényezőkkel színezve – gyakran a rövidtávú memória zavarával jár, megnehezítve az új eljárások, technológiák megtanulását, bevésését. Pozitívum, hogy a kor önmagában nem súlyosbítja az alkohol és drog problémákat. Viszont csökken a szervezet regenerációs képessége, hosszabb, zavar-talan alvási-pihenési periódusra lehet szükség két repülés között. Az ilyen pszichés problémáknak maga az idősödő pilóta nincs tudatában, fiatalabb kollégák - ha jó a csapatszellem és a humán erőforrás együttműködés – jelezhetik az „abnormális” viselkedést és a megfigyelés-követés szükségességét, amely alapján a repülőorvosi hatóság pszichiáter szakorvosi konzultációt kérhet.

<sup>23</sup> TSANG P.S.: Reappraisal of ageing and pilot performance. *International Journal of Aviation Psychology* 1992; 2: 193-212. o.

<sup>24</sup> HARDY, D.J., PARASURAMAN R.: Cognition and flight performance in older pilots. *Journal of Experimental Psychology* 1997; 3: 313-348. o.

<sup>25</sup> Új-Zélandi Polgári Légügyi Hatóság kiadványa, 2010. március/április, <http://www.glidering.co.nz/sites/glidering.co.nz/images/documents/Training/The%20Ageing%20Pilot.pdf>, (2012. március 21.)

<sup>26</sup> Pelegri, C., Maho, V., Amalberti, R.: Pilot age and training performance In: *Proceedings of the 21st Conference of the European Association for Aviation Psychology*. Brookfield, V.T.: Avebury Aviation, 1995.

## MOZGÁSSZERVEK

A repüléssel járó vibráció, hőmérsékleti szélsőségek, kényszeres ülő testtartás, katonai repülésben a szervezetre ható túlterhelések, esetleges katapultálás okozta traumák felgyorsítják a gerinc és az ízületek kopásos-elfajulásos betegségeit. 50-60 éves korban a fájdalom, mozgáskorlátozottság zavarhatja a kormányiszervek működtetését, maga a (tartós) gyógyszeres kezelés is mellékhatásokkal jár, csökkentheti a repülési ambíciót. Különösen a vészhelyzeti eljárások során szükséges ízületi flexibilitás fenntartása fontos (futómű manuális kiengedése, fej fölötti kezelőiszervek működtetése, körbetekintés fordulóban, stb.).

## REPÜLNI – DE MEDDIG?

### POLGÁRI REPÜLÉS

Az általános nyugdíjkorhatár megállapítása és attól bármilyen irányban történő eltérés napjainkban nagyon érzékeny politikai-társadalmi és szociális kérdés, miközben egy fokozottan balesetveszélyes közlekedési és honvédelmi ágazatban a speciális munkavégző képesség megállapítása és ezzel a professzionális karrier időbeli limitálása az egészségügyi és repülési szakhatóság kompetenciája, akiket elsősorban a repülésbiztonság fenntartása vezérel. Bár egyedi esetek – hirtelen szívhalál a pilótafülkében 55 éves kor alatt – elgondolkodtatóak lehetnek, az ICAO<sup>27</sup> 1978-ban készített ajánlása szerint az országok túlnyomó többsége polgári utasszállítógépeken a 60 éves életkort fogadta el a pilóták nyugdíjkorhatáraként, vagyis aktív repülőszolgálatot addig teljesíthetnek. Az 1996-ban megismételt felmérés szerint viszont jelentősen csökkent az életkori limethez ragaszkodók száma (csak az utasszállító gépeken maradt meg formálisan), helyette egyéb, sűrített repülőorvosi-operatív ellenőrzési programokat építenek be, illetve a szabályozás általános rugalmasságára tesznek javaslatot. Ez alapján az FAA is megkérdőjelezte a 60 éves kor önmagában mindent eldöntő relevanciáját.<sup>28</sup>

Hasonlóképpen a JAA európai szabályozása is már rugalmasabb megközelítést alkalmaz: 60-65 éves kor között utasszállító gépeken is engedi repülni a pilótát, feltéve, hogy a másodpilóta teljesen kiképzett, 60 évesnél fiatalabb (OML)<sup>29</sup>. A rizikó esetleges növekedését a terheléses EKG ismételt elvégzése ellensúlyozná, holott ennek negativitása nem jelenti teljes mértékben a kockázat kiküszöbölését. A légitársaságok, mint munkáltatók így rugalmasabban dönthetnek a nyugdíjazás kérdésében: például az Egyesült Királyságban mind a professzionális (kereskedelmi, nem utasszállító), mind a magán repülőgépes pilóták között találunk (bár csökkenő számban) 65-69, 70-74, sőt 75-79 éves korcsoportú aktív pilótát is, 178-an 80 évesnél idősebb korukban is repülnek magán és sportpilótaként. (Például ultrakönnyű repülőgépen, siklóernyő/motoros siklóernyő repülőként, ballonrepülésben.)

Az idősebb korosztályban a balesetek túlnyomó többsége emberi hibára vezethető vissza: kevesebbet repülnek, kisebb műszerezettséggel, rossz időjárási körülményeknek különösen kitéve ma-

<sup>27</sup> ICAO: International Civil Aviation Organization - Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

<sup>28</sup> KAY E.J.: Age 60 Rule Research, Part IV: Experimental Evaluation of Pilot Performance

<http://www.faa.gov/library/reports/medical/oamtechreports/1990s/media/AM94-23.pdf> (2012. március 14.)

<sup>29</sup> OML: Only Multi-crew Limitation: csak többpilótás (ekipázs) rendszerben



gukat, eleve alacsonyabb szintű egészségügyi előírásoknak megfelelően: a halálos légibalesetek kb. 3,5 %-a részben vagy egészben a fizikai cselekvőképtelenségre vezethető vissza ebben a korcsoportban, ezek túlnyomó többségében a korfüggő szív-érrendszeri halálozás áll a háttérben.

## KATONAI REPÜLÉS

A nagyteljesítményű vadászgépek korszakában a harci-manőverező repülés a fiatal (legfeljebb középkorú, vezető pozícióban 40-45 éves korig terhelhető) korosztály privilégiuma marad: ezt a nagy fizikai megterhelés, a magas G-tűrőképességi követelmény, az érzékszervi elvárások maximuma indokolja. Ugyanakkor felismerték, hogy a szállító gép, kommunikációs-célravezető-korai riasztó funkciót ellátó „repülő harcálláspontokon” (pl. AWACS<sup>30</sup>) a feladatok széles spektruma idősebb, tapasztaltabb szakemberekkel is megoldható. Ugyanakkor nem valószínű, hogy – nemzeti karrier struktúra vagy nyugdíjrendszer függvényében – 55 évnél idősebb korban ez gyakori jelenséggé válna.

Ugyanakkor számukra egyértelmű – a megszerzett tudásra, repülési tapasztalatra, projekciós (pszichológiai előrevetítési) képességre alapozott – perspektívát és foglalkoztatási lehetőséget kínál a pilóta nélküli (harci) repülőgépek U(C)AV<sup>31</sup> operátori beosztása: szimulátor közeli ergonómiai körülmények, melyek a hirtelen repülésélettani stresszt (oxigénhiány, túlterhelés, vibráció, zaj) egyértelműen kiküszöbölik. A látást-hallást segítő berendezések és számítógépes szimulációs berendezések a repülési események longitudinális követését, sőt anticipációját (előrejelzését és aktív befolyásolását) is lehetővé teszik (így az enyhe érzékszervi károsodások teljes mértékben ellensúlyozhatók). A repülési rutin, a vészhelyzetben korábban kidolgozott, kritikus helyzet menedzselésére szolgáló stratégiák eljárásmodok jól hasznosíthatók, csupán az irányítóközpont és az UAV tényleges távolságának függvényében egyfajta időkésleltetési periódust kell beiktatni (amíg a vészjelzés beér a központba illetve az elhárító reakcióra adott parancs visszaér a robotrepülőgéphez), vagy az UAV automatikus vészhelyzeti repertoárját kell a fedélzeti számítógép szoftverfejlesztésével megoldani. Minél több váratlan helyzetre minél szélesebb eszköz-skálával felkészíteni a fenyegetettség elhárítása és a cél leküzdése érdekében. Mindaddig, amíg az operátor agya (a reakcióidőt és az időkésleltetést is beleszámítva) hamarabb hoz helyes döntést, mint az UAV önállóan, addig az operátor katonai repülési tapasztalata nem nélkülözhető, kora pedig széles időtartományban nem elsődleges szempont. (Mivel az UAV rendszereinek működtetését többen végzik, a többszörös hirtelen cselekvőképtelenség kockázata elhanyagolható.)

## ÖSSZEFOGLALÁS

A repülésbiztonság fenntartásának követelménye a repülés mechanikai összetevőinek, procedurális-eljárási alrendszereinek és a humán tényezőnek a folyamatos elemzését követeli meg. A repülőgép-tervezés, gyártás és karbantartás hatalmas fejlődésének köszönhetően a mechanikai meghibásodás rizikója rendkívül alacsony szintre esett, ma a balesetek túlnyomó többségét (a legszélesebb értelemben vett) emberi hiba okozza: ennek csökkentése folyamatos cél

<sup>30</sup> AWACS: Airborne Warning and Control System: Légi Korai Előrejelző/Riasztó és Irányító Rendszer pl. E-3 Sentry

<sup>31</sup> U(C)AV: Unmanned (Combat) Air Vehicle: Pilóta nélküli (harci) Repülőeszköz

kell, hogy legyen. Ezen belül vizsgálni kell, hogy az életkor önmagában milyen mértékben járul hozzá a balesetekhez és ennek valamilyen jogi érvényű életkori korlátozása indokolt-e.

Az emberi hiba okozta légibalesetekben vezető szerepet játszik az ítélőképesség zavara, a figyelem funkció romlása és a kifáradás. Elméletileg ezek részjelenségei lehetnek a korfüggő mentális teljesítmény romlásnak is. Ezek alapján felvethető, hogy az idősebb pilóták magasabb arányban okoznak balesetet. Ugyanakkor egy FAA tanulmány megállapítja, hogy mind az általános (közforgalmi) repülésben, mind a magánrepülésben a legmagasabb incidens ráta a legfiatalabb pilóta korosztályokban fordul elő. A növekvő tapasztalat (és életkor) birtokában a balesetek gyakorisága alacsony állandó szintre esik, amely nem nő szignifikáns mértékben a 60. év betöltése után. (Külön az I. Egészségügyi Osztályba tartozó utasszállító gépek pilótáit vizsgálva hasonló a tendencia, még sokkal alacsonyabb baleseti ráta, abszolút esetszám mellett.)<sup>32</sup>

A mások baleseti ok a repülés alatti hirtelen cselekvőképtelenség kockázata, fizikai és/vagy mentális okok miatt. A fizikai cselekvőképtelenség leggyakoribb oka a gyomor-bélrendszer (rendszerint átmeneti) működészavara, **repülés alatt** a szív-érrendszeri történés még időskorban is ritka. E minimális rizikónak az értékelésére előbb 70, majd előrehozva 65 éves életkorban javasolt a terheléses EKG elvégzése. Ugyanakkor a mai Európai Unió JAA szabályozás is hangsúlyozza, hogy a fő védővonal a kétpilótás rendszer, a kontroll sikeres átvétele egészségügyi vész helyzetben a másik pilóta által. A szimulátoros vész helyzetű eljárások gyakorlásának köszönhető, hogy utoljára 1972-ben történt katasztrófa amiatt, hogy a pilóta koszorúér elzáródása a leszállásközben a gép irányíthatatlanságát okozta, mivel a másodpilóta nem volt képes a gép átvételére. A hangsúly azóta a cselekvőképtelenség felismerésén és a késedelem nélküli géptápvétel gyakorlásán van.<sup>33</sup> Ennek statisztikailag igazolható eredménye, hogy – miközben évente néhány alkalommal előfordul mellkasi fájdalom a szív koszorúerek vérellátási zavara miatt – utasok élete nem került veszélybe (immár 40 éve!). Vagyis a korrallal növekvő alacsony kockázati szintet teljes mértékben kompenzálja a kétpilótás képzési és működtetési rendszer.

Ilyen körülmények között – főleg a polgári repülésben – nehéz egyértelmű repülési korhatárt meghúzni, ha biztosítjuk, hogy a gyakoribb, alaposabb egészségügyi szűrővizsgálatokkal támasztjuk alá a pilóták repülési alkalmasságát, még magasabb életkorban is (egyúttal nem veszítjük el értékes repülési rutinjukat). Ennek ellenére a korhatár (még ha rugalmasabban is értelmezve) meg fog maradni: az utazóközönség aggodalma miatt (mely a repülés kapcsán magasabb szintűnek érzékeli a veszélyt, a tényleges statisztikai mutatók ellenére). Másrészt a nemzeti nyugdíjrendszer vagy a nagyvállalatok (légitársaságok) nyugdíjazási gyakorlata is szétválasztja az aktív „munkás” életet a visszavonult, passzív nyugdíjas létől. (A pilóták maguk sem biztos, hogy vállalják a 60 év fölötti szigorúbb, gyakoribb egészségügyi ellenőrzéseket!) Ezt is figyelembe véve 1998 óta megkétszereződött az Egyesült Királyságban a 60 évesnél idősebb professzionális pilóták száma, a Polgári Repülési Hatóság nyilvántartása szerint.

<sup>32</sup> KAY E.J.: Age 60 Rule (Aerospace Medical Association, Aviation Safety Committee, Civil Aviation Safety Subcommittee Position Paper), Aviation, Space and Environmental Medicine, 2004, 75: 708-713. o.  
[http://www.asma.org/.../position-paper-Age-60-rule\\_2004....](http://www.asma.org/.../position-paper-Age-60-rule_2004....) (2012. március 21.)

<sup>33</sup> CHAPMAN, P.J.C.: The consequences of in-flight incapacitation in civil aviation. Aviation, Space and Environmental Medicine, 1984, 55: 497-500. o.

Az utasszállító gépek pilótái számára az életkori limit megmarad. Magán-, kisépés és sport repülő kategóriában az elbírálás még rugalmasabb: amíg bármilyen fatális légibaleset **nem az időskorhoz köthető emberi hibából** alakult ki, repülésbiztonsági szempontból **nem okoz tömegkatasztrófát**, addig nem szigorítják az életkor felső határát. (Az Egyesült Királyságban a repülés közkedvelt szabadidős, sport és üzleti tevékenység, bármilyen szigorítás politikai következményekkel, az érintettek ellenállásával is járhat.)

A jövő demográfiai tendenciái, a népesség általános elöregedése, a technikai fejlődés, együtt érvényesülve az orvostudomány fejlődésével, a diagnosztikus lehetőségek bővülésével a repülési ágazat további dinamikus növekedését vetíti előre, az idősebb pilóta generációk tartós térnyerésével. Az erre vonatkozó egészségügyi alkalmassági vizsgálatok rendszere és a minősítési politika egésze – folyamatosan nyomon követve a repülésbiztonsági statisztika alakulását – jelentős átalakuláson mehet keresztül.

Fontos, hogy a pilóta maga is legyen tudatában annak, hogy bizonyos képességei, érzékszervi teljesítmény mutatói romolhatnak, ezért vállalja a gyakoribb, részletesebb repülőorvosi ellenőrzést. Ennek betartásával a repülési alkalmasság egészségügyi ok miatti elvesztésére későbbi életkorban kerülhet sor, ha már a kétpilótás rendszerben, az orvosi therápiás eszköztár kihasználása mellett, korlátozások bevezetésével sem adható ki a szakszolgálati engedélyük. Számukra a pilóta nélküli, távirányított repülőeszközök operatív irányításában való részvétel jelenthet életkorhoz illeszkedő kihívást, melyhez a felhalmozott repülési-harci tapasztalat, a rögzült repülési képességek alkalmazása nélkülözhetetlen. Az erre vonatkozó egészségügyi követelmények kidolgozása mind a polgári repülés területén <sup>34</sup>, mind katonai területen a NATO U(C)AV operátorok különböző kategóriái részére Egységes Védelmi Előírás kidolgozásával folyamatban van. <sup>35</sup>

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ALDINGER, C., DUNHAM, W.: Possible heart attack cited in U.S. Afghan crash WASHINGTON, July 3 (Reuters), <http://www.afghanistannewscenter.com/news/2003/july/jul42003.html>, letöltve 2008. március 13.
- [2] BESCO R.O., SANGAL S.P., NESTHUIS T.E.: A longevity and survival analysis for a cohort of retired airline pilots. Final Report. Washington, DC: Federal Aviation Administration Office of Aviation Medicine, 1995.
- [3] BOOZE C.F.: Sudden in-flight incapacitation in general aviation. Aviation, Space and Environmental Medicine 1989; 60: 332.-335. o.
- [4] CHAPMAN, P.J.C.: The consequences of in-flight incapacitation in civil aviation. Aviation, Space and Environmental Medicine, 1984, 55: 497-500. o.
- [5] COOKE, J: Chapter „The ageing pilot” in Ernsting’s Aviation Medicine. Ed.: D.J. Rainford, D.P. Gradwell Hodder Arnold 4. Kiadás, 2006, 785. o.
- [6] CULLEN, S.A., DRYSDALE, H.C., MAYES, R.W.: Role of medical factors in 1000 fatal aviation accidents: case note study, British Medical Journal 1997; 314:1592,
- [7] DOWNS J.R., CLEARFIELD M., TYROLER H.A., WHITNEY E.J., KRUYER W. et al: Air Force/Texas Coronary Atherosclerosis Prevention Study (AFCAPS/TEXCAPS): Additional perspectives on tolerability of long-term treatment with lovastatin. Am J Cardiol. 2001 May 1;87(9):1074-9.
- [8] ERNSTING, J. (Ed.): Aviation Medicine Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000, 3. Kiadás, 223-224 o.

<sup>34</sup> WILLIAMS, K.W.: Unmanned Aircraft Pilot Medical Certification Requirements, Civil Aerospace Medical Institute Federal Aviation Administration Oklahoma City, OK 73125 February 2007 Final Report

<sup>35</sup> STANAG (Standardization Agreement) 7192, Study draft 4: 7192. Egységes Védelmi Előírás, 4. Tanulmányvázlat. <https://nsa.nato.org>. (unclassified)

- [9] GRÓSZ, A.: A katonai repülő-hajózó állomány vizuális munkavégzőképességének mérési tapasztalatai. Kandidátusi értekezés, 1991, Budapest. p.7.
- [10] GRÓSZ, A., SZABÓ, S. A., TÓTKA, ZS., TÓTH, E., VÁMOSI, Z., KADA, S.: Diagnostic and Therapeutic Possibilities in Cardiovascular Risk Management of Flight Personnel. International Conference on Aerospace Medicine and 1<sup>st</sup> Annual International Forum on Disaster Medicine . Kassa, 2004. június 15-18.
- [11] HARDY, D.J., PARASURAMAN R.: Cognition and flight performance in older pilots. Journal of Experimental Psychology 1997; 3: 313-348. o.
- [12] JOY, M.: Cardiological aspects of aviation safety – the new European perspective. European Heart Journal., 1992., 13., Supplementum. H , 21-26. o.
- [13] [13] KAY E.J.: *Age 60 Rule* (Aerospace Medical Association, Aviation Safety Committee, Civil Aviation Safety Subcommittee Position Paper), Aviation, Space and Environmental Medicine, 2004, 75: 708-713. o.
- [14] [http://www.asma.org/.../position-paper-Age-60-rule\\_2004](http://www.asma.org/.../position-paper-Age-60-rule_2004). letöltve 2012. március 21-én
- [15] PELEGRI, C., MAHO, V., AMALBERTI, R.: Pilot age and training performance In: Proceedings of the 21st Conference of the European Association for Aviation Psychology. Brookfield, V.T.: Avebury Aviation, 1995.
- [16] RAINFORD, D.J , GRADWELL D.P. Ernsting's Aviation Medicine. Ed., Hodder Arnold 4. Kiadás, 2006
- [17] STRONG, J et al.: Prevalence and Extent of Atherosclerosis in Adolescents and Young Adults. JAMA. 1999; 281: 727-735. o.
- [18] TANEJA, N., WIEGMANN, D.A. : Prevalence of Cardiovascular Abnormalities in Pilots Involved in Fatal General Aviation Airplane Accidents . Aviat Space Environ Med 2002. 73. 1025-30. o.
- [19] TSANG P.S.: Reappraisal of ageing and pilot performance. International Journal of Aviation Psychology 1992; 2: 193-212. o.
- [20] TUNSTALL-PEDOE, H.: Cardiovascular risk and risk factors in the context of aircrew certification. European Heart Journal 1992; 13. , Supplementum H, 16-20. o.
- [21] WILLIAMS, K.W.: Unmanned Aircraft Pilot Medical Certification Requirements, Civil Aerospace Medical Institute Federal Aviation Administration Oklahoma City, OK 73125 February 2007 Final Report <http://www.gliding.co.nz/sites/gliding.co.nz/images/documents/Training/TheAgeingPilot.pdf>, letöltve 2012. március 21-én
- [22] Research and Technological Organization: Kutatási és Technológia Szervezet: RTO-TR-014 : Medication for Military Aircrew: Current Use, Issues, and Strategies for Expanded Options. RTO-TR-014 , AC / 323 (HFM-014) TP / 14, ISBN 92-837-1063-0, the RTO Human Factors and Medicine Panel, 2001 június
- [23] <https://nsa.nato.org>. (unclassified)
- [24] [http://www.asma.org/.../position-paper-Age-60-rule\\_2004](http://www.asma.org/.../position-paper-Age-60-rule_2004).

Csermely Ildikó<sup>1</sup>

## ZAJ KONTÚROK SZÁMÍTÁSI MÓDSZERE A POLGÁRI REPÜLŐTEREK KÖRNYEZETÉBEN AZ EURÓPAI UNIÓ ZAJÉRTÉKELÉSÉRE VONATKOZÓ TÖREKVÉSEINEK FIGYELEMBE VÉTELÉVEL<sup>2</sup>

*A légi járművek által a repülőtereken és azok környékén keltett zaj egyre több uniós polgár számára okoz kellemetlenséget, különösen éjszaka. Ezért aktív zajkezelési stratégiára van szükség a nem kívánatos hatások csökkentése érdekében. Az ICAO szintjén az EU aktívan támogatja a légi járművekre vonatkozó új zajvédelmi előírások kidolgozását. A földhasználatot érintő szabályozási terv, valamint az ahhoz kapcsolódó hangszigetelési és kártérítési programok azonban nemzeti vagy helyi hatáskörbe tartoznak. Az illetékes hatóságoknak olyan zajértékelési módszereket kell alkalmazniuk, amelyeknek a kidolgozása során figyelembe vették az ECAC 29. sz., szabványos módszerről című dokumentumának 3. kiadásában leírtakat.*

### **STANDARD METHOD OF COMPUTING NOISE CONTOURS AROUND CIVIL AIRPORTS REGARDING TO ON EUROPEAN UNIO RULES ON NOISE ASSESSMENT**

*Noise from aircraft at or around airports is a nuisance for a growing number of European citizens, especially at night. An active noise management strategy is therefore necessary to mitigate the undesired effects. At ICAO level the EU actively supports the development of new noise standards for aircraft. But land use planning, together with the associated insulation and compensation programmes, is a national or local competence. Competent authorities will use noise assessment methods which have been developed in accordance with the ECAC Report Doc 29 'Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports', 3rd Edition.*

A légiközlekedés zaja világszerte növekvő problémát jelent, különösen a repülőterek környezetében. A probléma megoldásának igénye szinte egy időben jelentkezett a fejlett légiközlekedéssel rendelkező országokban. Ezért sokszor párhuzamosan, sokszor egymástól függetlenül indultak kutatások a repülőgép zaj és a repülőgép zaj embert károsító vagy zavaró hatásának értékelésére, valamint a hatások kiküszöbölésére.

A kutatások során egyértelművé vált, hogy hatékony intézkedéseket kell tenni a repülőterek szennyezéseinek elhárítására.

A repülési műveletek és repülőtér üzemeltetésben a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet, (International Civil Aviation Organization) létrehozásáról 1944. december 7. napján, Chicagóban aláírt Egyezmény függelékai, napi névhasználat szerint Annexei sem adnak eljárásokat vagy ajánlásokat. Az 1974-ben megtartott Eight Air Navigation Conference által a Doc 9184.-es (Airport Planning Manual) Repülőtér Tervezési Kéziköny című ajánlásban, közzétett irányelvek alapját az 1969-ben repülési zajról a repülőterek környezetében tartott rendkívüli találkozó adja ma is.

A további kutatások eredménye szerint a repülési zaj jellegzetessége, hogy időben változó szakaszos. A viszonylag hosszabb idejű zajszinteket a repülési műveletek jelentkezésekor

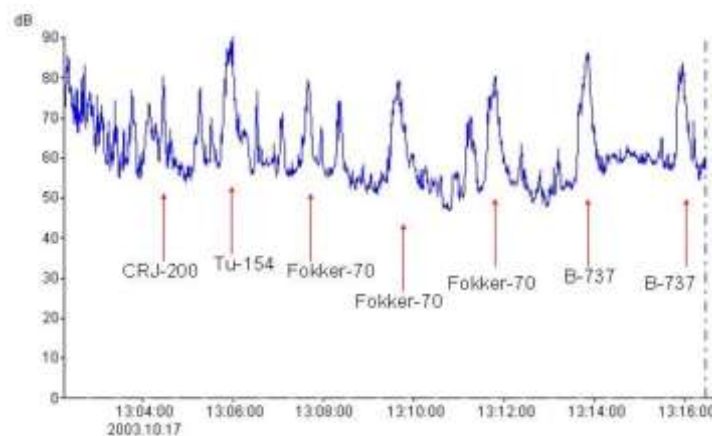
<sup>1</sup> csermely.ildiko@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

rövidebb idejű zajhatások követik. Ezért a légitözlekedés zajzavaró illetve károsító hatásának jellemzésére, valamilyen egyszámadatos indexet illetve zajértékelési módot határoztak meg, amely kielégíti a következő feltételeket:

- méréssel meghatározható, vagy mérési adatokból számítható,
- légiforgalmi adatok, repülőgép műszaki adatai és a zajt befolyásoló egyéb tényezők ismeretében előre becsülhető,
- jó korrelációt mutat a lakosság reakciójával (zavaró vagy károsító hatással).

A világ, és ezen belül az Európai Unió országaiban számos különböző mértékegységet alkalmaznak a zajhatások felmérésére. A felmerülő gond ezekkel a mértékegységekkel, hogy egyenértékben számolnak, azaz egy hosszabb időintervallumra valamilyen átlagolási technikát alkalmazva adják meg a zajszintet a légitözlekedésből származó zaj azonban egyedi jellemű, az egyes átrepülések rövid időtartamú, de viszonylag magas szintű zajt eredményeznek. Erre szeretnék példát hozni a következő ábra segítségével:



1. ábra Légijárművek zajterhelésének alakulása

A 2. ábrán, egy meghatározott ponton mért A-súlyozású egyenértékű zajszint időbeli lefutása látható felszálló légijárművek esetében. Az ábrán nyilak mutatják az egyes repülőgépek által okozott zajeseményeket. Ezek hosszabb időtartamúak, és intenzitásukban általában magasabbak, mint a közúti forgalom zaja. A repülőgépek zajának mérését azonban az elfedés jelenség miatt a magas háttérzaj nem befolyásolja, hiszen a repülőgépek zaja elégségesen kiemelkedik az alapszajból. Az ábrán látható hogy az egyes átrepülések egyedi zaja eléri a 90 dB (A) zajterhelést, de ha egyenértékű zajterhelését vizsgáljuk egy megadott műveletszám figyelembevételével, akkor a külön jogszabályban meghatározott határérték túllépés nem állapítható meg. A lakosságot a légijárművek egyedi zajterhelése zavarja, e zajhatások csökkentését több oldalról lehet megközelíteni. Egyrészt a repülőterek is bevezethetnek különféle intézkedéseket, amelyekkel csökkenthetik a lokálisan jelentkező zajszennyezést. Másrészt vizsgálható a zajos repülőgépek halkabbá tétele konstrukciós megoldásokkal.

## Zaj kontúrok meghatározása Magyarországon

A zajmértéke a földfelszín azon pontjaira nézve ahonnan egy légijármű a repülőtér közelében felszáll vagy leszáll, sok tényezőtől függ. Ezen tényezők közül az alapvetőek: légijármű típusai, hajtómű, különböző repülési pályákhoz tartozó pontoktól való távolság, a hang terjedését befo-

lyásoló helyi topográfia és az időjárás. A repülőtéri üzemelések általában különféle légi jármű típusokat, változó repülési eljárásokat és üzemeltetési terhek széles körét foglalják magukba. A légiközlekedés zaj zavaró- károsító hatásának csökkentésére illetve kiküszöbölésére minden zajértékelő módszerhez határértékek állíthatók fel. E határérték és a zajértékelő index várható értékei alapján a repülőterek környezetében zajvédelmi övezeteket alakítottak ki.

A jogalkotó a 176/1997.(X. 11.) kormányrendelettel kívánta rendezni a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének eljárás jogi szabályait. A kormányrendelet a „szennyező fizet” elv alapján a repülőtér üzemben tartóját tekinti felelősnek a légi közlekedésből eredő zajterhelésért. A légi közlekedésből eredő zaj csökkentése érdekében elrendelhetővé tesz időszakos és géptípusokra vonatkozó repülőtér-használatkorlátozásokat. Előírja a nagy repülőtereken zajmonitor rendszer üzemeltetését, rendelkezik a lakosság tájékoztatásáról.

A rendelet kiterjed minden olyan repülőterre, amelyet motoros repülőgépek és helikopterek rendszeresen használnak.

Fontos tisztázni a zajgátló védőövezet fogalmát, mert a hatósági közmeghallgatások tapasztalatai során derült ki, hogy a lakosság ezt valamilyen falnak esetleg buroknak tekinti, de mindenképpen épített fizikai védelemnek. A külföldi szakemberek „noise contour”, azaz zajkontúr kifejezést használják, amely mindenki számára érthető megfogalmazást tükröz. Zajgátló védőövezet a repülőtér környezetében, de a repülőtér határán kívül eső területének az a része, amelyen a repülőtér üzemeltetéséből számított mértékadó zajterhelés meghaladja a közlekedésből származó környezeti zajnak a jogszabályban meghatározott határértékeit. A zajgátló védőövezeten belül a számított mértékadó zajterhelés függvényében több övezet kijelölése is szükséges. Az övezet határok 5 dB-es lépcsőkben változnak 75 dB-től a védendő területre érvényes, közlekedésből származó környezeti zaj határértékéig.

A repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól szóló 18/1997. (X. 11) KHVM – KTM rendelettel a végrehajtás módszerét kívánta rendezni a jogalkotó. Az együttes rendelet két részből áll, melynek első része tartalmazza a zajgátló védőterületek kiszámításának szabályait. A második rész a repülőtár környezetkímélő üzemeltetésének szabályait tartalmazza. A számítási irányelv azt a célt szolgálja, hogy a zajgátló védőövezetek övezeti határait egységes módszerek szerint lehessen számítani, kizárólag a polgári célú repülőterek környezetében. A számításhoz szükséges kiinduló adatok egy része olyan normatív repülőgép műveleteket tartalmaz, melyek függetlenek a repülőtér kialakításától. Abban az esetben, ha a számításokban ettől eltérő repülőgép műveleteket illetve ettől eltérő emissziós adatokat kíván használni, akkor az illetékes légiközlekedési hatóságtól külön engedélyt kell kérni. A számítás kiinduló adatainak másik része a repülőterre jellemző adatokat tartalmazza.

A jelenleg Magyarországon hatályos repülőgép zajszámítási eljárás a német AzB 1971-es első változatának az adaptációja, mely 1997 -ben készült. Mind a magyar, mind a német szabvány egy számítási leírásból és egy hozzá tartozó adatbázisból (repülőgépek akusztikai osztálya szerinti besorolás) tevődik össze. Míg a német AzB szabványt 1971. óta több alkalommal is frissítették: „AzB-75“, „AzB-84“, „AzB-95“, „AzB-96“, „AzB-99“, addig a magyar számítási szabvány még mindig az 1971-ből származó német szabvány adaptációja.

## **A Magyarországon alkalmazott zajkontúrok számítási módszerének leírása**

A rendelet szerint a repülőtér környezetének egy tetszőleges pontjában (immissziós pont) a mértékadó zajterhelést két összetevőből kell számolni:

- a levegőben végzett gépmozgásokra vonatkozó egyenértékű zajterhelés
- a földön végzett műveletekből származó egyenértékű zajterhelés.

Levegőben végzett gépmozgásnak nevezzük mindazt a gépmozgást, ami felszálláskor a startponthoz történő kiállás pillanatától kezdődik, leszálláskor pedig a futópályán történő fékezési szakasz végig tartanak. Minden egyéb hajtóműjáratással kapcsolatos műveletet földön végzett műveletnek kell tekinteni. A repülőtér környezetének bármely pontján a levegőben történő gépmozgásokra vonatkozó  $L_{aeq}$ , R tartós egyenértékű zajterhelését egyedi repülési eseményekhez tartozó „A” súlyozású zajeseményszintek ( $L_{AE}$ ) összegzéséből kell kiszámítani. Egy repülési eseményhez tartozó  $L_{AE}$  zaj eseményszint számítása azon a feltételezésen alapszik, hogy egy repülési eseményhez tartozó maximális zajszint és az átrepülési idő a mindenkor csak az adott repülőgép kategóriára jellemző üzemi és zaj emissziós adatoktól függ. Az egyenértékű zajterhelés alakulását ezen kívül a távolság, magassági szög, megtett ívhossz befolyásolja. A repülési műveletekből származó egyenértékű zajterhelést meghatározásánál ki kell választani azokat a repülési útvonalakat, amelyeken ha légi jármű repül át az szerepet játszik az immissziós pont zajterhelésében. Minden lehetséges átrepülési pontra nézve meg kell határozni az immissziós pont és a repülőgép közötti távolságot és a magassági szöget. Ezt a műveletet minden az útvonalat használó légi jármű jogszabályban meghatározott kategóriájára nézve külön-külön meg kell határozni. Az egyedi repülési eseményekhez ki kell számítani az  $L_{Amax}$  maximális hangnyomás szinteket és az átrepülési időket. Ebből kiszámítható a zajeseményszint ( $L_{AE}$ ), ami az egyedi átrepülési eseménynek a zajkibocsátással kapcsolatos energiatartalmát jellemző mennyiség az immissziós pontnál. Valamint minden zaj eseményszintet gépkategóriánként és gépmozgásonként összegezni kell a mértékadó megítélési időn belül a repülési útvonalra nappali és éjszakai időszakokra vonatkozóan.

A számítások során normatív repülőgép műveleteket osztályokba soroljuk repülőgép kategóriánként és repülési műveletek típusa alapján. Nem lehet alkalmazni a normatív repülőgép műveleti adatokat az alábbi légi járművekre:

- műrepülés céljára kialakított repülőgép típusok és műveletek
- hátsó légcsavarral rendelkező tolóerővel működő ultrakönnyű légi járművek
- katonai légi járművek esetén.

A zajgátló védőövezet meghatározásánál a fentiek szerint ki kell számítani egy mértékadó terhelést, majd ezt össze kell hasonlítani a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról szóló 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet 3. mellékletével egy határértékkel. Minden országban egységes gyakorlat, hogy a zajgátló védőterület határait egy előrebecsült távlati repülőtéri forgalomra, számítással határozzák meg. Magyarországon a számításhoz szükséges mértékadó forgalmat a következő tíz év előrebecsült forgalmi adataiból kell megállapítani. A mértékadó műveletszám a következő tíz év legnagyobb zajterhelését eredményező évében a legnagyobb zajterheléssel járó hat hónap összes forgalma. A megfigyelési időt 16 órára, éjszaka 8 órára választják.



A zajgátló védőövezetek határait általában sík domborzati viszonyok feltételezésével kell számítani. ezen túlmenően figyelembe lehet venni a terepalakulatok árnyékoló hatását is, de csak olyan helyeken és olyan repülési vagy földön végzett műveletekre nézve ahol a terepszint fölött 10 méter magasságból a zajt keltő repülőgép közvetlenül nem látható. Szomszédos házak építmények zajárnyékoló hatását csak abban esetben lehet figyelembe venni, ha ezeket kifejezetten ebből a célból is létesítették.

A zajgátló védőövezet ábrázolásához legcélszerűbb olyan alaptérképet használni, amelyeket derékszögű hálózatra rajzolt országos vetületi rendszerben ábrázoltak, és amelyben a repülőtér és környezetének térkép anyaga már ábrázolva van, szükséges léptékben.

### **Zajkontúrok számításának szabvány módszeréről az európai polgári repülőterek környezetében**

Az Európai Unióban 2002-ben elfogadásra került a környezeti zaj értékeléséről szóló 49/2002/EK direktíva, mely előírja a tagállamok stratégiai zajtérkép és intézkedés-terv készítésre vonatkozó kötelezettségeit. Magyarországon a stratégiai zajtérképezés és intézkedési terv készítés mikéntjét a 49/2002/EK irányelv implementálásával a 280/2004 (X.20.) Kormányrendelet, illetve a 25/2004. (XII.20.) KVM rendelete szabályozza. A 280/2004 (X.20.) Kormányrendelet a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről fontosabb pontjaiban leírja a zajtérkép-készítés jogi háttérét, a határidőket, továbbá a stratégiai zajtérképek és intézkedési tervek tartalmi és formai követelményeit. A kormányrendelet részletesen előírja az alkalmazott zajjellemzők és értékelési módszer meghatározását.

A 25/2004 (XII.20.) KVM rendelet szabályozza részletekbe menően a stratégiai zajtérképek, valamint az ezt követő intézkedési tervek elkészítési módszertanát. A rendelet leírja az alkalmazható számítási szabványokat a különböző zajforrásokra, illetve a zajterjedésre. A zajtérkép térképes formában mutatja a terület zajterhelését. A stratégiai zajtérképek a területen lévő összes zajforrást figyelembe vehetik. A feltüntetendő környezeti zajforrás-csoportok: üzem/ipar, közút, vasút, légi közlekedés. A számítást minden forrás-csoportra külön kell elvégezni és ábrázolni.

Ezen szabályozásokon túlmenően a 49/2002/EC direktíva, a repülőterek környékén a zajszámításra az ECAC. DOC 29. (European Civil Aviation Conference) számítási módszert javasolta, mely javaslatot Magyarország nem fogadott el.

Az ECAC.DOC 29. számítási adatbázisa a repülőgéposztályokra vonatkozóan hivatkozik az ICAO Annex 16. vol. 1 fejezeteire és ugyanazt a számítási adatbázist használja, mint a német AzB.

Az ECAC DOC 29. dokumentum célja a repülőgép specifikus adatok és a repülőtér üzemeltetési eljárások nagy száma miatt a repülőtéri zajterhelés számítása során meghatározott egyszerűsítéseket bemutatni, valamint szabvány számítási módszer megadása a repülőterek zajkontúrjainak meghatározására. A nehézséget az okozza a módszer meghatározásánál, hogy a leírt számítási módszernek lehetővé kell tenni a Tagállamok számára a saját repülőtereik zajkontúrjainak kiszámítását, melyek a többi tagállammal összeegyeztethetőnek és pontosnak kell lennie. A számítási szabvány elsődlegesen polgári kereskedelmi repülőtereken alkalmazandó, amelyeket sugárhajtóműves vagy nehéz légsavár meghajtású légijárművek használnak. Ha

megfelelő zaj és teljesítmény adatok rendelkezésre állnak, akkor a könnyű légsavarhajtasú légi járműveket is be lehet vonni a számításba.

A repülőtéri zaj vizsgálatok céljából a számítások sorrendben az alábbiakat foglalják magukba:

- az egyedi légi jármű mozgásokból eredő zajszintek meghatározását a megfigyelési pontokban a repülőtér körül;
- az egyedi zajszintek hozzáadását vagy kombinálását a különálló pontokban a választott zajindex megfogalmazásának megfelelően
- a választott index értékek kontúrjainak interpolálását és megszerkesztését.

Általában a zajindexet, amire a kontúrokat kiszámítják hosszú távú napi átlagolt értékre határozzák meg, jellemzően néhány hónapos időtartammal. Ebből következik, hogy a repülőtér körül a zajkontúrokat oly módon határozzák meg, hogy az index az átlagos körülményeket az idő hosszú tartamában közel hasonlóan írhasse le. A zajszintek az egyedi mozgásokra vonatkozóan kerülnek kiszámításra az adott, sík földfelszín feltételező légköri körülményekre, a zaj teljesítmény távolság jellemzőiből és a légi jármű teljesítményadataiból. A zajadatokra a feltételeket a légköri csillapítási tényezővel határozzák meg, amihez a világ néhány nagyobb repülőtérétől származó éves átlagokat kívánják alkalmazni. Ehhez szükséges adatok a meghatározott léghőmérséklet és páratartalom, a repülőtér magassága és a szélesség. Ugyanakkor, abból kiindulva, hogy a számított zaj kontúrok hosszú időtartamon keresztül leírják az átlagos körülményeket, ugyanezeket az alapadatokat alkalmazzák az egyedi területeken is.

A zaj kontúr meghatározásához a DOC 29.-es dokumentum alapján az alábbiakra van szükség:

- a repülőtérrel üzemelő légi jármű típusok;
- zaj és teljesítmény adatok valamennyi érintett légi jármű típusra a rögzített részletes leírásoknak megfelelően;
- a névleges földi útiránytól való szórást is magába foglaló, az érkező és induló légi járművek által követett útvonalak;
- a légi járművek típusonkénti mozgásszámok mindegyik útvonalra, a számításokhoz kiválasztott időtartamon belül, beleértve a napi időpontot mindegyik mozgásra vonatkozóan;
- mindegyik útvonalra a vonatkozó üzemeltetési adatok és repülési eljárások (a légi jármű tömeget, teljesítmény beállításokat, sebességeket és a különféle repülési szegmensek konfigurációt)
- a repülőtéri adatokat (az átlagos meteorológiai körülményeket, futópályák számát és kialakításukat)

Az érkezési vagy indulási útvonalon lévő mozgások számára a légi jármű helyzettájékoztatót és a korrigált hajtómű tolóerőt a különféle repülési üzemelési szegmenseken keresztül számítják ki, a repülőtér körülvevő földfelszínen felvitt rácshálón kiválasztott pontokból (x, y koordináták), a repülési pályához vezető távolságra és tolóerőre vonatkozóan. A légi jármű pontos helyzetének meghatározására lehetőséget teremt az aktuális földi útirány bizonyos mérvű oldalirányú eltérésére a pontatlan útvonaltartás miatt. Módosításokat alkalmazz a módszer a hang extra csökkentése érdekében, a légi jármű irányához képest oldalirányú többszöröződése során a felszállási nekifutási megkezdése utáni irányíthatóság érdekében a hangsugárzási szint esetében a légi jármű sebességében, valamint a legmagasabb zajszint időtartamában.

A megadott zajszinteknek olyanoknak kell lenniük, melyek a repülési pálya alatt állandósult repülés során, 160 csomós állandó sebesség mellett, állandó konfigurációkkal és tolóerő beállításal, bedöntés nélkül állnak fenn. A légi jármű azon konfigurációját és repülési sebességét, amire a zajszint vonatkozik, táblázatok és grafikonok alapján kell meghatározni. A zaj adatokat a  $L_{Amax}$  szempontjából kell meghatározni. Az  $L_{Amax}$ ;  $L_{AE}$  kiszámításakor a mért légi jármű zajterhelését decibelben és 20 mikropascal vonatkoztatási nyomásértékéhez viszonyítottan 1/3-as oktáv sávzélességű hangnyomásszintre csökkentik. A hangnyomás szinteket 24 1/3 oktáv sávzélességű 50-1000 Hz-ig terjedő tartományú közepes frekvenciáknál, 0,5 s időintervallumban kell meghatározni.

A légi jármű csoportosítás rendszerét a jelenleg érvényes ICAO Kód és Típus Leírásra, valamint teljesítménnyel és a zaj kibocsátással kapcsolatos fizikai paraméterekre alapozzák.

A légi járművek gurulása, hajtómű próbázása segédhajtómű zajterhelésére vonatkozó számításokat nem tartalmazza a számítási módszer.

Az Unió repülőterein a zajvédelemmel összefüggő üzemeltetési korlátozások bevezetésére vonatkozó szabályok és eljárások megállapításáról a kiegyensúlyozott megközelítés jegyében és a 2002/30/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlament és tanács rendelet javaslata szerint aktív zajkezelési stratégiára van szükség a nem kívánatos hatások csökkentése érdekében. Ennek a zajellenes stratégiának azonban gondosan egyensúlyoznia kell az érintett polgárok érdekei és más érdekek között. Kellő mértékben tekintetbe kell vennie a teljes légiközlekedési hálózat kapacitására gyakorolt hatásokat is.

Az egyes repülőterek zajvédelmi helyzetének értékelésére az illetékes hatóságoknak olyan zajértékelési módszereket kell alkalmazniuk, amelyeknek a kidolgozása során figyelembe vették az ECAC DOC 29. sz., Jelentésben leírtakat:

1. A légi közlekedés okozta zaj hatását legalább az  $L_{den}$  és az  $L_{night}$  zajmutatók alapján kell leírni, amelyek definícióját és számítási módját az előzőekben leírt 2002/49/EK irányelv tartalmazza, amely zajmutatókat használják a stratégiai zajtérképek készítésénél.
2. Az illetékes hatóságok további olyan zajmutatókat is alkalmazhatnak, amelyek tudományosan igazolható módon tükrözik a légi közlekedés okozta zaj káros hatását.

Tény, hogy a tagállamok saját jogszabályaiknak és zajvédelmi módszereiknek megfelelően döntöttek a zajvédelemmel összefüggő repülési korlátozásokról, amelyek így esetenként (még) nem teljesen összeegyeztethetők az ECAC DOC. 29. dokumentumával és a légi járművekre vonatkozóan nem a nemzetközileg elfogadott zajjellemzőket használják. Az üzemeltetési korlátozások hatékonyságát és eredményességét azonban, akárcsak az azokat tartalmazó cselekvési tervek hatékonyságát és eredményességét, ECAC-dokumentum és az ICAO „kiegyensúlyozott megközelítés” alapján kell megítélni. Ennek megfelelően a tagállamoknak úgy kell módosítaniuk a nemzeti jogszabályaikban szereplő üzemeltetési korlátozásokhoz kapcsolódó értékeléseiket, hogy azok teljes mértékben megfeleljenek az ECAC DOC 29. dokumentumában leírtaknak.

Az európai légiközlekedési ágazat várhatóan fenntartható módon fog növekedni, és ennek során kiegyensúlyozott lesz a gazdasági, társadalmi és környezetvédelmi szempontok szerepe. A zajcsökkentő intézkedések jelentősen befolyásolhatják a légiközlekedési hálózat kapacitását

a földön és a levegőben. A javaslatok a zajvédelemi intézkedések, a repülőtér-kapacitások és a repüléshatékonyági követelmények jobb összehangolását fogják eredményezni az egységes európai égbolt révén, illetve teljesítményre vonatkozó előírás bevezetésével a légiforgalom-kezelésnél.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Sobor Ákos – dr. Becske Lóránd: Nemzetközi kitekintés a repülési zaj szabályozására. Akusztikai Szemle, 2010.
- [2] Az Unió repülőterein a zajvédelemmel összefüggő üzemeltetési korlátozások bevezetésére vonatkozó szabályok és eljárások megállapításáról a kiegyensúlyozott megközelítés jegyében és a 2002/30/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlament és tanács rendelet tervezet
- [3] Az Európai Polgári Repülési Konferencia irányadó 29. sz. „Jelentés a zajkontúrok polgári repülőterek környezetében végzett számítására szolgáló szabványos módszerről” (ECAC DOC 29.)
- [4] Az Európai Parlament és a Tanács 2002/49/EK IRÁNYELVE (2002. június 25.) a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről.
- [5] A repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezet kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól szóló a176/1997.(X.11.). Kormányrendelet
- [6] A repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól szóló 18/1997. (X.11.). KHVM- KTM rendelet
- [7] A környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról szóló 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet
- [8] A környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről szóló 280/2004 (X. 20) Korm. rendelet
- [9] A stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól szóló 25/2004 KvVM rendelet.

Pokorádi László<sup>1</sup> – Bera József<sup>2</sup>

## REPÜLÉSFEJLESZTÉS KÖRNYEZETVÉDELMI KOCKÁZATKEZELÉSE<sup>3</sup>

*A repülés az emberi tevékenységekhez, így a többi közlekedési ágazathoz hasonlóan környezeti kockázatot hordoz magában. A környezeti kockázati tényező pusztán terhelési adatokkal és határértékekkel megadva, mint a repülésből származó környezeti veszélyről ad képet, háttérbe szorítva több olyan tényezőt, ami szükséges a légi közlekedés és a repülésfejlesztés teljes környezetvédelmi értékeléséhez. Ezért szeretnénk a környezetvédelem és a repülés számára is fontos, eddig háttérbe szorított jellemzőket áttekinteni, melyhez korábbi környezetvédelmi vizsgálataink tapasztalatait és a kockázatkezelés területén elért eredményeinket használjuk fel.*

### ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT OF AVIATION DEVELOPMENT

*The aviation has environmental risk as well as other forms of transportation. The risk factors shown by data and limiting values represent danger to environment. These ones de-emphasize considerations that are needful for development of aviation and its complete estimation from point of view of environmental protection. Therefore the Authors would like to review the played down questions mentioned above applying their experiences of environmental protection investigations and risk management.*

## BEVEZETÉS

A repülőterek működésétől és a kapcsolódó légi forgalomtól származó környezetterhelés miatt a lakosság jelentős része kezeli a repülést elutasítással vagy negatív előítélettel. Mindez a repülőterek környezetében élők és az üzemeltetők között olyan konfliktushelyzetet teremt, melynek feloldása az utóbbi évtized eredményeit tekintve nem nevezhető sikertörténetnek. A lakosság repüléssel szemben kiváltott ellenállását jelentős részben a környezeti zajhatás, kisebb részben a kialakult levegőkörnyezeti állapot váltja ki, de nem szabad megfeledkezni az egyéb környezeti elemek, így a földtani közeg és a vizek szennyezéséről, vagy a hulladékok keletkezéséről sem. A környezetvédelmi érdekek érvényesítése ugyanakkor — elismerve annak jelentőségét és kiemelt szerepét mind a jelenlegi életünk, mind a saját és gyermekeink jövője vonatkozásában — csak átgondolt döntési folyamat részeként lehetséges, ugyanis a repülés egyéb feltételeinek bármilyen szempontból való háttérbe szorítása kockázati tényezőt jelent a légi forgalom számára, kockázat a repülőterek biztonságos működésében és a repülésfejlesztésben. Így a környezetvédelem fontos szabályozó szereppel bír a légi közlekedés vonatkozásában, ami már a repülésfejlesztésben is meg kell jelenjen.

A repüléstől származó környezeti kockázatot jelen tanulmányban egymással részleteiben ösz-

<sup>1</sup> egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

<sup>2</sup> környezetvédelmi szakértő, Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, bera@kdvktvf.kvvm.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Sziki Gusztáv Áron, főiskolai tanár, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, sziki@atomki.hu

szefüggő, de a későbbiekben részletezett szempontrendszer alapján mégis két eltérő megközelítésben vizsgáljuk. Egyrészt a repülőterek környezetét érintő terhelés problémakörét, másrészt a tágabb értelemben vett, globális környezeti érdekeket vesszük alapul. Emellett figyelembe vesszük azt is, hogy a közlekedési ágazatokat tekintve több pozitív tényezőt is a repülés mellé sorolhatunk. Például a zajterhelés vagy a levegőterheltségi szint, mint jelentős környezeti hatás a repülőterek környezetét érinti, a nagy távolságú repüléseknél ugyanakkor már olyan levegőterheléssel számolhatunk, ami lakóterületet közvetlenül nem érint, de befolyásolja a Föld légkörében zajló folyamatokat. A területfoglalás és az eredeti környezet megváltoztatása repülőtereknél és a repülésfejlesztésnél elmarad a közúti, vagy a vasúti közlekedés mögött. Ha mindezt végig gondoljuk, és hozzá tesszük a légi közlekedés társadalmi és gazdasági jelentőségét, nem szorul különösebb magyarázatra, hogy célszerűnek mutatkozik egy olyan kompromisszumos helyzet megteremtése, ami a környezetvédelem „szabályozó eszköz” szerepét emeli ki a repülés egyéb feltételeit figyelembevéve a tiltó és a repülést megfojtó szerepkör helyett. Ennek alapját a környezeti kockázatok újragondolt kezelése jelenti, ami egyben a repülés számára egyfajta környezetvédelmi törődés biztosítására is megteremti a lehetőséget.

Fenti gondolatok adták az iránymutatást ahhoz, hogy az elvégzett környezetvédelmi vizsgálataink [3], [4] alapján tett megállapításokat a kockázatkezelésben elért eredményeink [8], [10] tükrében tekintsük át, és további kutatásaink középpontjába a repülés, a környezetvédelem és a kockázatkezelés együttesét helyezzük.

A tanulmány az alábbi részekből áll: a második fejezet a repülés környezetvédelmi kockázati tényezőit írja le. A harmadik fejezet a repülésfejlesztés kockázataival foglalkozik, ezen belül áttekintést ad a környezetterhelési kockázatokról, majd a madárütkezési és a baleseti kockázatokot ismerheti meg a kedves olvasó. Végül a Szerzők összegzik jövőbeli célkitűzéseiket.

## REPÜLÉS KÖRNYEZETVÉDELMI KOCKÁZATAI

A környezetvédelemben kialakult elsődleges szemléletmód, így ennek következményeként a jelenlegi problémakezelés elsődlegesen humán érdekeket érvényesít. Ebből fakad, hogy a környezetterhelési követelmények a legtöbb esetben emberi válaszreakciókon alapulnak, az embert és az épített környezetet érő környezeti hatásokat veszik figyelembe. Természetesen napjainkban léteznek egyéb határértékek is, melyek a különböző környezeti elemek, mint a felszíni és felszín alatti vizek, a földtani közeg és a természeti értékek védelmét, illetve a hulladékok minősítését szolgálják a szubjektivitástól függetlenül. Azonban a hatások, melyek érzékeny környezeti állapotot okoznak — pl. környezeti zaj- és rezgésterhelés, légszennyezés és levegőterhelés —, az ember szempontjából kapnak minősítést.

Mindemellett nem feledkezhetünk meg arról a fontos tényről sem, hogy a határértékekkel szabályozott tevékenység, így a légi közlekedés egy társadalmi, gazdasági és globális értelemben is megfogalmazott igény kielégítése céljából nyújt szolgáltatást nagyszámú ember számára. Lényege, hogy személy- és teherszállítás területén is biztosítja a nagytávolságú utazást, légi utas szállítás keretében kényelmes kiszolgálás mellett és kedvező időráfordítással tehetünk meg nagy távolságot.

Ha a repülés jelentőségét említjük, nem szabad megfeledkezni arról az igényről sem, amit a honvédelem, a közbiztonság és a mára már kiemelt szerepkörbe emelt katasztrófavédelem fogalmaz meg a légi közlekedéssel szemben. Ehhez repülőtereket kell üzemeltetni, a folyamatos és biztonságos légi forgalmat fenn kell tartani, és nem utolsó sorban mindehhez hozzá tartozik a kiképzési repülés is.

Repülőutak előnye, hogy egyéb szempontból ugyan, de csak a szükséges tárgyakat visszük magunkkal, felesleges poggyász vagy áru szállítására a legritkább esetben kerül sor, ami kedvezően befolyásolja a repülésnél mozgatott áru mennyiségét. Légi közlekedés keretében ellenőrizhető az utas-magatartás, kontrollált a szállítványozás, ami a biztonság kockázatait csökkenti. Elfeledett, de környezetvédelmi megközelítésben lényeges szempont, hogy a légi utas szállításnál jóval kevesebb hulladék keletkezik, mint a közúti vagy vasúti utaztatásnál, valamint nincs elhagyott hulladék, a szolgáltatást igénybe vevő fél nem szennyezi közvetlenül a felszíni és felszín alatti vizeket.

A repülésfejlesztés és a repülőtér üzemeltetés teljes körű környezetvédelmi értékeléséhez tehát célszerű a döntésekhez felhasznált tényezők teljes spektrumban való vizsgálata, ezért a folyamatot a továbbiakban kiterjesztjük a következők szerint: *emberi megítélésen alapuló* és *természetes környezet érdekein* alapuló értékelési szintek. Ez a megközelítés a továbbiakban meghatározó tényező lesz a jelenleg tárgyalt témakörön belül, vagyis a repülésfejlesztés, és a repüléssel összefüggő tevékenységek környezetvédelmi kockázatkezelését ebből az aspektusból indítjuk.

További jelentőséget látunk a környezetvédelmi megítélési szint alapján meghatározott fogalmi körben abból a megközelítésből is, hogy napjaink társadalmi viszonyai mellett a repülés, mint környezetterheléssel járó emberi tevékenység a gazdaság meghatározó részeként jelenik meg, ugyanakkor környezeti hatás és kockázat szempontjából érintett mind az épített, mind a természetes környezet. A légi közlekedésnél egy összetett rendszer kiválasztott eleméről beszélünk, melynek jelentős kapcsolódó felülete van a környezetével, ehhez pedig hozzá tartoznak a természeti értékkel rendelkező területek is, a környezeti hatásokat ezért ezekben az esetekben is vizsgáljuk.

A légi közlekedés és a repülőtér üzemeltetés a gazdasági folyamatok halmazában önmaga is összetett rendszert alkot, ami a rendszerhatárok menti környezetére folyamatos, időben változó hatást gyakorol, de ugyanez a környezet is hatással van a rendszerre, azaz a repülésre. Egy rendszer vizsgálatához ugyanakkor szükséges a lényegi tulajdonságainak megismerése, környezetvédelmi szempontból a különböző hatások rangsorolása és súlyozása, valamint a meghatározó elemek azonosítása. A rendszertulajdonságok helyes kezelése azért lesz fontos a továbbiakban, mert a repülés környezetvédelmi kockázatainak vizsgálata során nem tekinthetünk el attól, hogy a különböző hatások kapcsolatát és függőségét is elemezzük. Ezt azzal a példával támasztjuk alá, miszerint a zajterhelés csökkentése érdekében előírt nagyobb siklószög a hajtómű-terhelés változása miatt kedvezőtlenül befolyásolja a légszennyező anyag kibocsátását.

A repülésnél, így természetesen a repülésfejlesztésnél a rendszer és környezete kapcsolatában az időbeli változásoknak kiemelt jelentősége van. A környezet negatív válaszreakciójának sok esetben a hirtelen fellépő, vagy erősen változó értékekkel észlelhető hatás az oka, amire tapasztalatunk szerint nem fordítunk kellő figyelmet, illetve határértékkel nehezen kezelhető

probléma alakul ki.

A repüléstől származó kibocsátások környezet oldaláról történő helytelen megítélése és kezelése további kockázatot rejt magában, aminek következménye, hogy az épített környezet védelme érdekében is születik számos döntés, ami lokális és tágabb értelemben a természetes környezet járulékos terhelését okozza. Ez a tény a jövő környezetvédelmében már azokat a megoldásokat is előtérbe helyezi, melyek egy kisebb környezetterhelést okozó tevékenységgel váltják ki az eredetileg alkalmazott, nagyobb környezetterheléssel járó technológiát. Ezt a lehetőséget szükségesnek tartjuk kiterjeszteni a természeti értékek védelme érdekében is, amikor ütköztetjük az emberi és a természetes környezet érdekeit.

A környezetvédelmi kockázatok áttekintésének alapja jelenleg a fentiek szerint:

- környezetvédelmi szakterületek önállósága és elkülönült problémamegoldás;
- környezetterhelési követelmények elsődlegesen az emberi válaszreakciókon alapulnak.

A fellépő környezeti hatás megítélése tehát nagyban függ attól, hogy a repülés milyen környezetet érint, milyen irányú és mértékű változást okoz az eredeti állapotban, vagyis milyen környezetgerjesztéssel számolhatunk. Példaként említhetünk egy épített és természetes környezetben is jól alkalmazható megoldást, ami mindkét esetben problémaként megjelenő környezeti zajterhelés csökkentésére irányul. A repülést egy zajosabb vagy hosszú ideig tartó, erre érzékeny területen fellépő zajosabb technológia helyett is alkalmazhatjuk, ennek előnyére korábbi vizsgálataink során már rámutattunk [3]. Ekkor a légi jármű a környezetvédelem hatékony eszköze lehet, jól alkalmazható egy különleges építmény telepítésénél az épített vagy a természetes környezet megóvása érdekében. Számos esetben találoztunk azzal a problémával, hogy természeti értékkel rendelkező, illetve természetvédelmi védettség alatt lévő területen kell valamilyen építményt elhelyezni, ami lehet pl. rádió adótorony, szélgenerátor, egy híd vagy egy közlekedési létesítmény eleme. Az építési kivitelezéshez szükséges a berendezés részegységeinek építési területre való beszállítása, nagy teljesítményű munkagépekkel és daruval történő beemelése. Ilyen esetben ahhoz, hogy a munka- és emelőgépek bejussanak a területre és ott működjenek, területet kell biztosítani, utakat kell építeni. Mindez talajterheléssel jár, beavatkozást jelent a természetes környezetbe, élőhelyeket érint, vagy egy vízfolyás szennyezéséhez vezet. Ezért kijelenthetjük, hogy az eltérő jellegű környezeti hatásokat együttesen, párhuzamos módon is össze kell vetni, hogy megfelelő képet kapjunk a teljes rendszerről, és jó döntést hozzunk.

A környezeti kockázatot nem egyetlen hatás, vagy korábbi tapasztalatok alapján rögzített „meghatározó terhelés” jelenti, hanem az egyidejűleg több, illetve a valamennyi környezeti elem vonatkozásában kialakuló környezetterhelés „nem megfelelő” kezelése. A tényleges vagy valós környezeti kockázat sokszor abból ered, hogy nem a megfelelő technológiát alkalmazzuk a tevékenységhez, így tevékenység során kialakuló környezetszennyezés vagy a környezetterhelés csökkentése sem lehet sikeres, amivel hosszú távon fenntartjuk a szennyező állapotot.

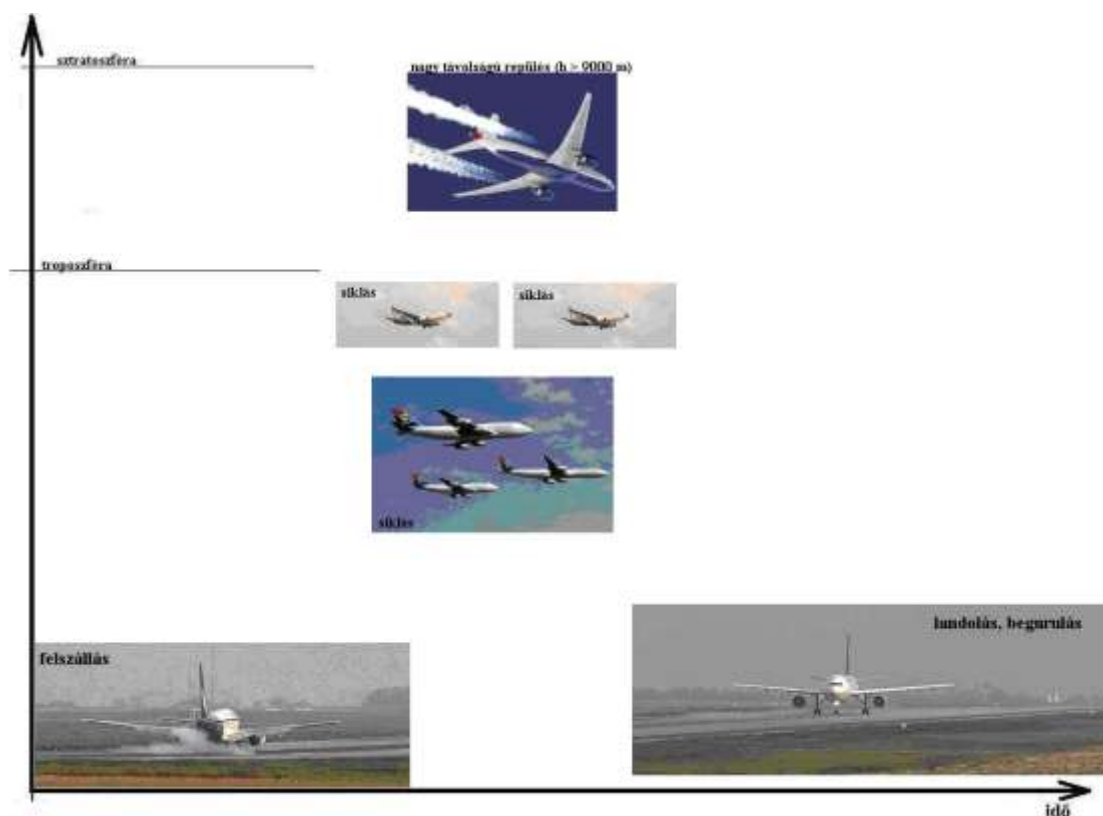
Fenti megállapítások azért kapnak jelentőséget a repülésben, mert a legtöbb esetben régen megkezdett tevékenységről, már működő repülőtérrel és meglévő repülőtér fejlesztéséről van szó, illetve a kérdéses repülőtér már régen kialakult gazdasági és közlekedési környezetben helyezkedik el. Tehát a környezetvédelem részeként kell elfogadnunk, hogy sokszor nem lehet a környezetterhelést olyan mértékben lecsökkenteni, ahogy azt a többség elvárja, hanem



több lépcsőben lehet a megkívánt, kedvezőbb környezeti állapotot elérni, vagy egy kisebb mértékű környezeti hatás-csökkenést tudunk elérni.

A repülésnél más gazdasági vagy közlekedési tevékenységekhez hasonlóan eltérő mértékű és jellegű környezetterheléssel számolhatunk a teljes folyamat egy-egy szűkebb fázisában. Bonyolítja a helyzetet a repülési magasságból adódó jellemző is, hiszen egyrészt eltérő kibocsátásokkal számolhatunk, másrészt ez befolyásolja a kibocsátó és környezete kapcsolatát is a tényleges környezetterheléssel együtt.

Ennek bemutatására a repülést egy időskálára helyeztük. Az időskála kezdőpontja  $t = 0$  (h) a felszállás, a skála végpontja  $t = n$  (h) a leszállás és az érkezés. Nézzük meg, hogy az idő függvényében mely kibocsátási jellemzők lesznek változóak és állandóak, esetleg melyekkel nem kell számolni, illetve egy kiválasztott időpontban mely környezeti hatás okoz olyan mértékű terhelést, ami az érintett terület védelmét vagy intézkedés megtételét igényli. A környezeti hatások megjelenését az 1. számú ábrán szemléltetjük.



1. ábra Repüléstől származó környezeti hatások megjelenésének fázisai

A kibocsátások, illetve a környezetterhelés időbeli változása miatt szeretnénk a továbbiakban a repülés, mint rendszer, valamint a rendszerhatárok mentén található környezet kapcsolatára is ráirányítani a figyelmet. Az idő függvényében változó kibocsátási jellemzők ugyanis időben eltérő, a repüléshez és a kapcsolt tevékenységhez köthető válaszreakciót generálnak a környezettől.

Mindezek felmérése és pontosítása nélkülözhetetlen a repülésfejlesztés számára is, amiről környezetvédelmi vizsgálat alapján és a környezeti kockázatok mérlegelésével hozhatunk döntést. Ezen a ponton tegyük fel az újabb kérdést: *milyen szempontok figyelembevételével, mely környezeti hatásnak tulajdonítunk jelentőséget és meghatározó szerepet?*

### Környezetterhelési kockázatok

Első megközelítésben a repüléssel összefüggő környezetterhelési kockázatot — kiterjedésére is figyelemmel — a kockázati tényezők súlyosságára tekintettel állapítjuk meg. A *kockázati tényező súlyosságára* irányuló meghatározás azonban több szempontból értelmezésre, majd további vizsgálatra szorul, ugyanis az, hogy milyen jellemzőket tekintünk meghatározónak és fontosnak, illetve mely kibocsátás okoz szennyezést vagy környezetkárosítást, határérték alapú követelményrendszer határozza meg. Ez a módszer háttérbe szorítja a beavatkozáshoz szükséges ugyancsak fontos terhelési jellemzőket, mint a környezetterhelés változásának mértéke és időbeli lefolyása, az állandósult vagy időszakosan fellépő hatás.

Fentiek alapján tehát a környezetszennyezés és a környezetkárosítás a beavatkozás oldaláról további jelentőséget [2] kap a kockázatok alapján szükséges azonnali intézkedések miatt. Hatékony környezetvédelemhez ugyanis megvalósítható, eredményre vezető intézkedésekre van szükség, minden esetben olyan eszköz alkalmazására vagy javasolt módszer bevezetésére, ami teljesíthető feladatot jelent, akár a környezethasználó, akár a védendő környezet oldalán jelenítjük meg. Ezért a környezetszennyezés- vagy a terhelés csökkentésénél előtérbe helyezzük azokat a megoldásokat, melyek együttesen és átfogóan veszik figyelembe a repülés, mint rendszer tulajdonságait, a kialakuló rendszerhatárokat, azok időbeli változásait, valamint a környezet tulajdonságait.

A kérdés, amire választ keresünk egy környezetvédelmi probléma megoldása során, tehát nem merülhet ki abban, hogy mekkora és milyen jellegű környezetterhelésről beszélünk, hanem ki kell terjednie az ok-okozati összefüggésekre és a lehetséges megoldásokra, valamint a repülés biztonsági kockázataira is. Ellenkező esetben a környezetvédelmi céllal meghozott döntés nemcsak eredménytelen lesz, de járulékos hatásként lehetőséget teremt a repülés biztonsági kockázatainak növelésére.

A repülés és a repülőtér üzemeltetés teljes folyamatát tekintve több olyan környezeti hatás is kialakul, ami a rendszeroldal és környezete, vagyis az üzemeltető, mint környezethasználó és a védendő környezetben lévők együttműködését igényli. E feltétel érvényesítését a repülésben — más közlekedési alágazatokhoz hasonlóan — nehezíti, hogy a környezethasználó személye a tényleges repülés és a repülőtér üzemeltetés vonatkozásában szétválik, és a későbbiekben csak egységes szabályokkal lehet egy-egy követelménynek a teljes rendszert megfeleltetni. Ennek természetesen része az ellenőrzés is.

A repülésfejlesztés megítélését nehezíti, hogy önmagában több kibocsátás is meghatározó az üzemeltetési folyamatban, azonban a fejlesztés vonatkozásában már kevésbé bír jelentőséggel. Például ez a tény érvényesül akkor, ha a fejlesztés következtében nem várható a környezeti hatás jelentős megváltozása, mert az üzemeltetés részeként már kialakult a környezetterhelés, annak kezelése megoldott. *Szemléletesen:* a hulladékok keletkezése és elszállítása, majd az ártalmatlanítás, vagy a műszaki kiszolgálásnál kibocsátott szennyvizek elvezetése a fejlesztés előtt megjelenő, meglévő és folyamatosan fennálló feladat, így a fejlesztés csak kismértékben befolyásolja. Hasonlóan a környezeti zajterheléshez, amikor 3 dB-es zajszint növekedést a légi forgalom legalább kétszeres növekedése okoz. [2]

Hogy melyik kibocsátási jellemzőt mekkora dominanciával vegyük figyelembe a környezeti kockázat azonosítása során, az alábbiak áttekintése is szükséges:

- a rendszer egy elemének a megváltozása mennyiben befolyásolja a környezetterhelés mértékét és a környezet válaszreakcióját;
- rendelkezünk-e megfelelő műszaki eszközzel a környezetterhelés csökkentéséhez;
- a környezetterhelés csökkentéséhez rendelkezésre álló, vagy a kiválasztott megoldás szempontjából van-e kizáró oka a megvalósíthatóságnak (pl. gazdaságosság);
- a környezetterhelés csökkentéséhez mennyiben van szükség a környezet bevonására és a környezet egyes elemeinek közreműködésére.

Fenti felsorolás áttekintését segíti, illetve további információkkal egészíti ki az *1. számú* táblázat, melyben a különböző környezeti hatásokat foglaltuk össze, egyben megadva azokat az időszakokat, amikor tényleges kibocsátással számolunk. A repüléstől származó környezeti kibocsátás, illetve a környezet terhelése függ az *1. számú* ábrán bemutatott, az időhöz kötött folyamattól is.

Időszak	Művelet	Környezeti hatás
I.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés; 3. Hulladékok keletkezése, gyűjtés és tárolás, majd elszállítás; 4. Szennyvíz keletkezése, földtani közeg terhelése, talajterhelés.
II.1.	Gurulás, felszállás, emelkedés	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
II.2.	Siklás sztratoszféra felett	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
II.3.	Siklás troposzféra felett	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
II.4.	Leszállás, érkezés, gurulás	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
III.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés; 3. Hulladékok keletkezése, gyűjtés és tárolás, majd elszállítás; 4. Szennyvíz keletkezése, földtani közeg terhelése, talajterhelés.

1. táblázat Repüléstől származó környezeti hatások

A repülésben további hangsúlyt kap, és az *1. számú* táblázat szerinti tényezők vizsgálatához, vagyis a kockázati tényezők teljes körű megítéléséhez tartozik, hogy a környezeti tényezőkkel együttesen a baleseti kockázatot is vizsgáljuk, ahogy azt például a madárütközés veszélyének témakörében is tesszük. [10]

A környezetterhelési kockázatokkal összefüggésben kell említeni a katasztrófa kialakulását is, mivel egy esetleges katasztrófa környezetvédelmi szempontból is a szokásos üzemállapottól eltérő, különleges helyzetet teremt, és valamennyi környezeti elemet érintheti.

Következésképpen a felszíni és a felszín alatti vizek, a földtani közeg szennyeződhet, amit hosszadalmas szennyezőanyag-mentesítés, illetve kárelhárítás követ, illetve mindez jelentős

műszaki beavatkozást is jelent az eredeti környezeti állapot vonatkozásában. A katasztrófa, mint környezetterhelési kockázat megjelenítése így indokolt a folyamat vizsgálatánál, hiszen baleset a siklási időszakban, illetve a nagy távolságú repülésnél is bekövetkezhet, és ekkor másodlagos következményként, de jelen van a környezetszennyezés. Személyi vagy műszaki okok mellett a környezet hatására kialakuló különleges tényezők is okozhatnak katasztrófát, ahogy a fentiekben említett madárütközésnél már utaltunk rá. [10] Fontos leszögezni azonban, hogy a környezeti kockázatok terén is csak az lehet elfogadható helyzet, ha ilyen esemény nem következik be.

A kockázati tényezők vizsgálatát a repülés és repülőtér üzemeltetés, mint környezethasználati folyamat során az eddig elmondottakra figyelemmel a tevékenység időszakokra bontásával célszerű elvégezni, amit szeretnénk a korábbiakhoz képest nagyobb hangsúllyal kezelni. Ezzel a felbontással ugyanis megválaszolható lesz egy további kérdés is, miszerint milyen kockázati tényezőkkel számolhatunk a repülésfejlesztésnél?

Fenti kérdés megválaszolásához a kockázatok kialakulásának feltételeit is vizsgálni kell az alábbiak szerint:

- általános, illetve szokásosan alkalmazott intézkedésekkel és műszaki eszközökkel a határértékek teljesülése nem biztosított, ezért környezetterhelés-, szennyezés- vagy károsítás alakul ki;
- havária vagy baleset következtében valamely környezeti elem terhelése azonnali védelmet, illetve beavatkozást igényel;
- a kibocsátások miatt a környezetben fellépő terhelés folyamatos, a légi forgalom nélküli állapothoz képest jelentős a változás mértéke.

A környezeti kockázatok kialakulásának feltételrendszere az eddig elmondottak alapján függ az 1. számú táblázat 3. oszlopában részletezett hatótényezőktől, valamint az adott kibocsátás jellemzőitől. Ezek a jellemzők: idő függvényében megjelenő vagy változó környezetterhelés, az eredeti környezeti állapot megváltozásának mértéke, a környezeti hatás elleni védelem módja és szükségessége.

Látható, hogy nincs egyszerű dolgunk, hiszen egy összetett rendszer és folyamatosan változó környezet közötti kapcsolatot kell kezelni az amúgy is összetett problémakört alkotó környezetvédelem szempontjából. Mivel eddigi tapasztalataink alapján az utólagos vagy az elkülönült szabályozás nehézkesnek bizonyul és kevés sikerre vezet, az ilyen jellegű javaslatok megfogalmazása helyett célszerűbbnek látjuk a repülés folyamatába, mint rendszerbe való környezetvédelmi beavatkozás lehetőségét vizsgálni.

Repülésfejlesztésnél a várható környezeti hatások azonosításán túl arra is ki kell térni, hogy a fejlesztés a környezeti kibocsátásokat milyen módon érinti, vagyis milyen szempontból várható változás, annak mértéke és dominanciája az alapállapothoz képest mekkora lesz. Ezek a kérdések a környezeti kockázatok tartalmának meghatározásával is összefüggésben vannak, ezért a jobb áttekinthetőség kedvéért a további vizsgálatoknál az üzemelési folyamat időszakokra bontásának elvét követjük.

Repülőgép hajtóművekből a környezeti levegőbe kerülő légszennyező anyagok a repülőtér és környezetében jelentkeznek koncentráltan. Emellett a levegőterheltségi szint szempontjából a repülőtér üzemeltetési folyamatainál használt és a kapcsolódó infrastruktúra működtetéséből származó kibocsátások is meghatározóak.

A légszennyező anyagok kibocsátásának mértéke elsősorban attól függ, hogy a repülőgép milyen tevékenységet végez, az 1. számú táblázat szerint melyik időszakban működik. A nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ), a szén-hidrogén ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) és szén-monoxid (CO) kibocsátás jelentkezik felszállás és leszállás időszakában, guruláskor és a földi üzemnél. A nitrogén-oxid és a széndioxid ( $\text{CO}_2$ ) kibocsátás a siklás időszakában növekszik meg, illetve a magas légkörben, 9000 m magasság felett haladva víz keletkezik, ami megfagyva jéggé alakul, amelynek szemcséi üvegházhatást idéznek elő a légkörben. A 2. számú táblázatban foglaltuk össze a repülőgépektől származó levegőterhelés jellemzőit.

Időszak	Jellemző	Levegőterhelés
I.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ), szén-hidrogén (CH) szén-monoxid (CO)
II.1.	Gurulás, felszállás, emelkedés	nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ) növekszik
II.2.	Siklás sztratoszféra felett	nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ) növekszik, sok széndioxid ( $\text{CO}_2$ ) és víz keletkezik
II.3.	Siklás troposzféra felett	nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ) növekszik, $\text{CO}_2$ keletkezik
II.4.	Leszállás, érkezés, gurulás	nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ), szén-hidrogén (CH) és szén-monoxid (CO) növekszik
III.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ), szén-hidrogén (CH) szén-monoxid (CO)

2. táblázat Repüléstől származó levegőterhelés (Forrás: Szerzők)

A különböző légszennyező anyagok levegőben való terjedése és a tartózkodási idő több tényezőtől is függ, mint a szennyezőanyag minősége és koncentrációja, időjárási viszonyok és a repülőtér környezetének beépítettsége. A koncentráció természetesen annál magasabb, minél közelebb vagyunk a szennyező forráshoz.

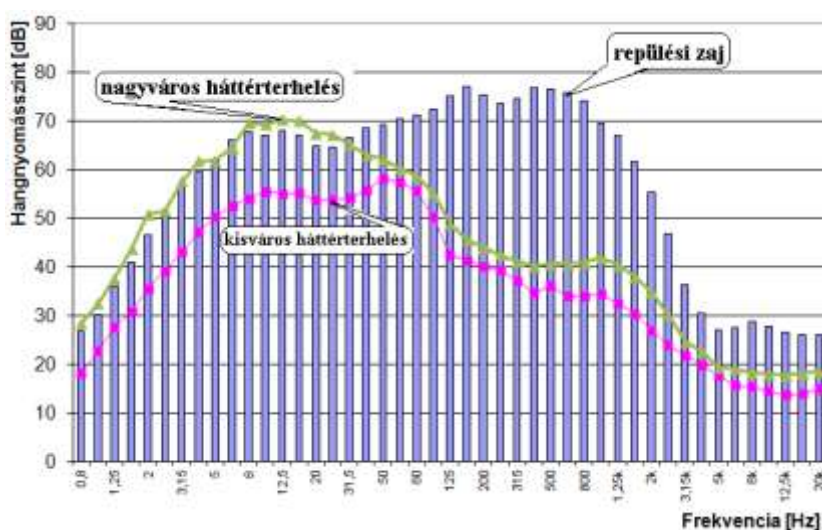
Környezeti kockázat szempontjából külön említést kell tenni arról, hogy a légi közlekedés a globális környezetszennyezés terén úgy kap szerepet, hogy nagy magasságban, 9000-10000 m-en a hajtóművek által kibocsátott  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  és víz fejt ki hatását. A hajtómű 1 kg kerozin felhasználásával átlagosan kb. 1,25 kg vizet bocsát ki a légkörbe, ahol az megfagy, mivel ebben a magasságban a levegő már nem keveredik a földfelszíni légréteggel. A kifagyott jégréteg (kondenzcsík) üvegházként viselkedik. A magas légkörben kibocsátott  $\text{NO}_x$  kémiai reakciók révén, fény hatására bontja az ózont, így az ózonpajzshoz közeli kibocsátás szintén jelentőséget kap. A kibocsátások megítélését segítik az alábbi adatok: a repülőgépek éves szinten 100-150 millió tonna vizet, és évente 1 millió tonna  $\text{NO}_x$ -et bocsátanak ki.

Amennyiben levegőtisztaság-védelem tükrében vizsgáljuk a légi közlekedést, több olyan megállapítás is tehető, ami a repülésfejlesztés szempontjából meghatározó lesz. Mivel az  $\text{NO}_x$  a troposzférában ózont termel, a sztratoszférában viszont roncsolja az ózont, a repülési magasság szerepét hangsúlyozni szeretnénk a kockázatok feltárása során. Hasonló jelentősége van a repülési magasságnak a vízgőz hatásában is, hiszen a földfelszínhez közeli repüléseknél a kibocsátott vízgőz nem káros, de troposzférában megfagy és a jégkristályok miatt növekszik a légköri felmelegedés, ami viszont már globális értelemben megjelenő környezetvédelmi problémakörbe tartozik.

A repülési folyamat levegőtisztaság-védelmi szempontú áttekintésével látható, hogy célszerű

a jövőben az üzemelési folyamat szakaszokra bontásának jelentőségét előtérbe helyezni, és a továbbiakban egy-egy repülési fázis — repülőtér megközelítése és leszállás, taxizó út és begurulás, taxizó úton kigurulás, gyorsítás, illetve felszállás és emelkedés — részletesebb vizsgálatával a környezeti hatásról pontosabb kép kialakítása, mert így a környezeti kockázat feltárása is pontosabb lesz.

Az eddigi megállapításokat támasztják alá a repüléstől származó zaj vizsgálati eredményei is. A repülőtér környezetében a felszállás és a leszállás, valamint a nagy magasságú repülés következtében fellépő zajterhelésre mutat mérési adatokat a 2. számú ábra. Látható, hogy ebben az esetben is eltérő szempontok alapján lesz célszerű a repülés kockázatait feltárni és értékelni. Természetesen később az összegző értékelésre és a környezeti hatás minősítésére a rész-eredmények alapján kerülhet sor.



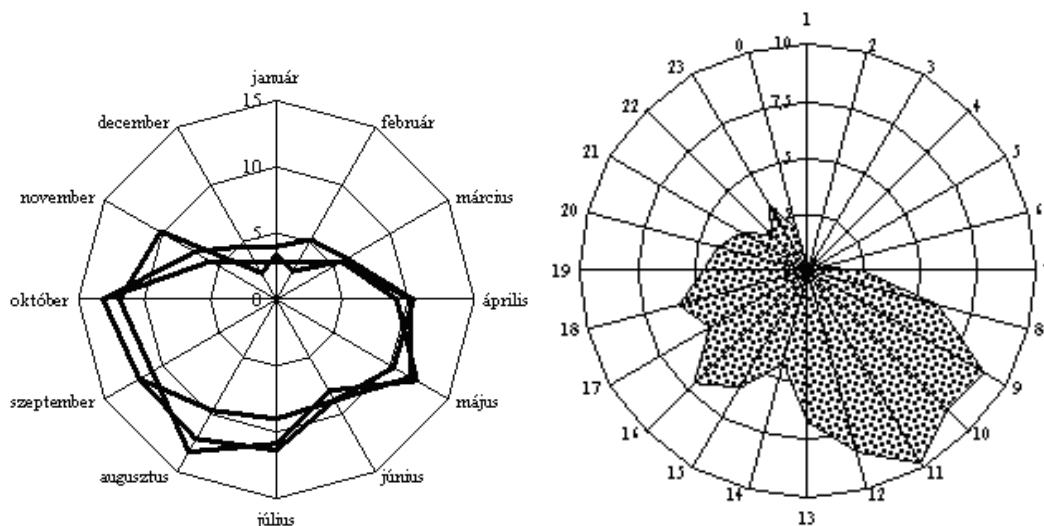
2. ábra Repüléstől származó zajterhelés eltérő környezeti jellemzők mellett (Forrás: Szerzők)

## Madárütközési kockázatok

A repülési kockázat jelentős részét a repülőgépek vadállatokkal való ütközésének kockázata jelenti. A megfelelő és hatásos ellenintézkedések érdekében az első és legfontosabb feladat a korábban megtörtént repülőgép – vadállat ütközések statisztikai elemzése. A 3. számú ábrán a madárütközések relatív eloszlásai láthatók az évszakok és a napszakok függvényében.

Az első diagramból egyértelműen látható, hogy általában augusztus, szeptember és október a legeseménydúsabb egymást követő három hónap. Az ütközések napi relatív eloszlását szemlélve látható, hogy a balesetek döntő része a reggeli és délelőtti napszakban történik [9].

A repülés közbeni madárütközési kockázat csökkentésének egyik módja lehet a megfelelő repülési manőver végrehajtása. A madárkikerülési manőver hatásossága számos összetevőtől függ, mint például a humán fiziológiai tényezők, a repülőgép kormányvezérlő jelekre adott reakciója.



3. ábra Az ütközések relatív megoszlása (%-ban kifejezve) a hónapok és napszakok függvényében (százalékban kifejezve)

Napjainkban időszerűvé váltak olyan tanulmányok, elemzések készítése, melyek célja hozzájárulni a madárütközések repülőgépek üzemeltetésére gyakorolt kockázatának csökkentéséhez a nagykockázatú madárfajok emberi(!) tájhasználattal történő szabályozásával.

Az elemzések során a szakemberek a madárveszéllyel kapcsolatos fenti ismereteket integrálták a tájhasználattal kapcsolatos információkhoz, létrehozva egy listát, mely segítséget ad a helyi hatóságoknak a repülőtér üzemeltetéséhez illeszkedő terület-felhasználás meghatározásához.

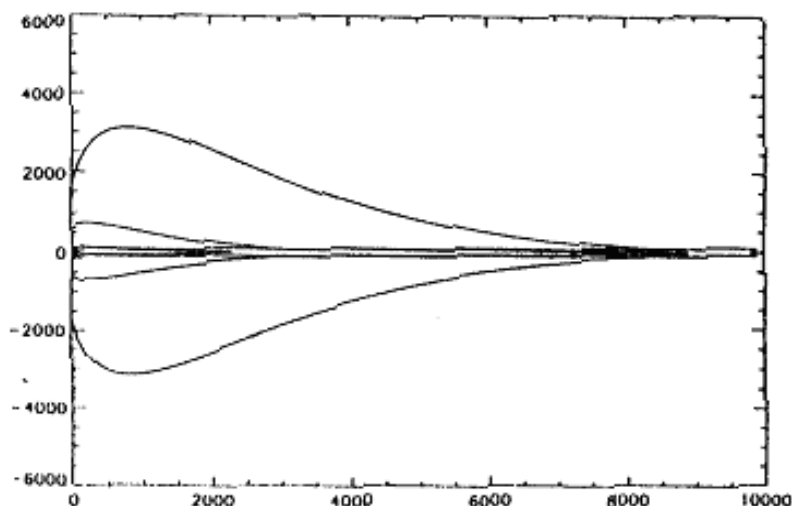
### Baleseti kockázatok

A repülőterek közelében bekövetkező légi-katasztrófák kockázatának becslése és elemzése nagy jelentőséggel bír a repülőterek kialakítása vagy fejlesztése, illetve a környező települések (elővárosok) fejlesztése szempontjából. A repülési feladatok legveszélyesebb fázisai a fel- és a leszállások, amelyeket a repülőtereken, vagy azok közel-körzetében hajtanak végre. Ezek a kockázati tényezők jelentős hatással bírnak a környező lakosság számára. Napjainkra a települések terjeszkedése már több helyen elérte a repülőtereket. Belátható, a repülőtér-közel kockázatok becslése és kezelése fontos kérdésként mutatkozik a repülésbiztonság tekintetében.

A repülőtér-közel kockázat számítási módja három fő lépésből áll. Elsőként a repülőterek közelében bekövetkező légi balesetek valószínűségét kell meghatároznunk. Ez függ a baleset bekövetkezésének egy mozgáshoz (fel- vagy leszálláshoz) viszonyított valószínűségétől, illetve az adott repülőtéren évente végrehajtott mozgások számától. Az egy mozgáshoz kapcsolódó baleseti valószínűség, a baleseti ráta, a korábbi repülő események statisztikai vizsgálatával határozható meg. A repülés biztonságának növekedésével együtt a baleseti ráta fokozatosan csökken, így ezen tényező jövőbeni értéke csak extrapolációval becsülhető. Jelentős eltérés mutatkozik a baleseti ráta értékében a különféle repülési feladatok, a Föld különböző régiói között is.

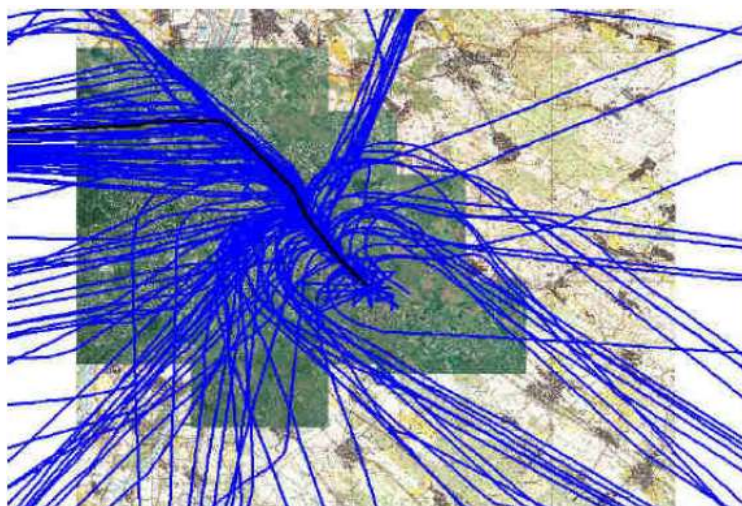
A baleseti ráta ismeretében, az adott repülőtér éves forgalma (mozgásai) alapján meghatározható az egy baleset bekövetkezésének éves valószínűsége.

Valójában a helyi baleseti valószínűség nem egyenletes a repülőtér közvetlen közelében, így a baleseti valószínűség térbeli eloszlását is meg kell határoznunk. Ezt a felszállópálya küszöbétől mérve a pálya talajra vetített görbéje mentén, az attól mért merőleges távolság függvényében kell meghatározni. [7]



4. ábra Lokális katasztrófa eloszlások [1]

A katasztrófák bekövetkezésének lokális valószínűségét (vízszintes-síkú) kétdimenziós eloszlással írták le az előző adatok további statisztikai elemzésével. A 4. számú ábra a statisztikai úton meghatározott teljes lokális katasztrófa valószínűség eloszlást szemlélteti a fent meghatározott koordináta rendszerben. A diagramon úgynevezett „izo-valószínűségi” görbék láthatók. Mivel a fenti kockázati zónákat a pálya talajon vett vetülete mentén kell értelmeznünk, ezért külön figyelembe kell venni a fel- és leszállási nyomvonalakat is a vizsgált repülőtér esetére. Az 5. számú ábra egy közforgalmú repülőtér felszálló nyomvonalak 24 órás eloszlását mutatja. [6]



5. ábra Induló repülőgépek 24 órás nyomvonal eloszlása [6]

A katasztrófa várható következményét a baleseti terület nagysága és a területen belül fellépő halálesetek számával jellemezték és modellezték a kutatók.



Mivel a fenti kockázati zónákat a pálya talajon vett vetülete mentén kell értelmeznünk, ezért külön figyelembe kell venni a fel- és leszállási nyomvonalakat is a vizsgált repülőtér esetére.

A következő lépésként fel kell állítani az úgynevezett baleseti következmény-modellt, mellyel az eseti faktort tudjuk meghatározni. Az eseti faktorok meghatározásához figyelembe veszik az úgynevezett ütközési, repülőgép és környezeti jellemzőket.

Egy baleset következményének mértékét a baleseti terület nagyságával és az azon belüli a halálos következmények számával határozzák meg a modell felhasználásával. A baleseti következmény modelleket három csoportba lehet sorolni. Az úgynevezett első kategóriájú modell esetén szubjektív becslési módokat alkalmaz. Ezt akkor célszerű alkalmazni, amikor a következmények meghatározásához nem rendelkezünk statisztikailag megfelelő számú adattal.

A determinisztikus baleseti következmény modell alkalmazásakor a rendelkezésre álló adatok alapján határozzák meg a várható következményeket. Ez a módszer hajlamos túlbecsülni egy baleset következményeit.

A valószínűségi baleseti következmény modell a repülőgép paramétereiből, illetve a becsapódáskori mozgási adatokból származtatott statisztikai adatok alapján történik a katasztrófa következményeinek becslése. A módszer előnye, hogy sem szubjektív véleményt, sem szakmai feltételezést, hipotézist nem igényel.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A rendszer és környezete kapcsolatában az idő függvényében bekövetkező változásoknak a repülés és a repülésfejlesztés környezetvédelmi értékelésénél a korábbiakhoz képest nagyobb szerepet célszerű biztosítani. A környezet részéről adott válaszreakció milyensége ugyanis a legtöbb esetben a hirtelen kialakuló, vagy a változó értékkel fellépő környezeti terheléstől függ, amire a következőkben nagyobb figyelmet szükséges fordítani, ennek hiányában határértékkel nehezen kezelhető probléma alakul ki.

A környezeti hatás megítélése nagyban függ attól, hogy a repüléstől származó terhelés milyen környezetet érint, milyen irányú és mértékű változást okoz az alapállapotban, ezzel együtt attól, hogy melyik környezeti elem — egy vagy akár több — vonatkozásában okoz változást a repülési tevékenység adott fázisa, vagyis a földi üzem, a fel- és leszállás vagy siklás. Ezért a következőkben a repülési tevékenység vizsgálatát két ütemben látjuk célszerűnek, elsőként a repülés céljaként a globális hatások függvényében történő értékelés szerint, második fázisban pedig a tevékenység ütemekre való bontásával a szűkebb környezet alapján.

A kibocsátások, illetve a környezetterhelés időbeli változása miatt szeretnénk a továbbiakban a repülés, mint rendszer, valamint a rendszerhatárok mentén található környezet kapcsolatára nagyobb figyelmet fordítani. Az idő függvényében a változó kibocsátási jellemzők ugyanis időben eltérő, a repüléshez és a kapcsolt tevékenységhez köthető válaszreakciót generálnak a környezettől, ami a rendszerhatárok változásának követését igényli.

Ezért a környezetszennyezés- vagy a terhelés csökkentésénél javasoljuk előtérbe helyezni azokat a megoldásokat, melyek együttesen és átfogóan veszik figyelembe, illetve követik a

repülés, mint rendszer tulajdonságait, ehhez kapcsoltan a rendszerhatárokat és azok időbeli változásait, valamint a környezet tulajdonságait.

Kutatási célunk a repülésfejlesztésnél várható környezeti hatások azonosításán túl olyan jellemző elemzések kidolgozása, melyek a repülésfejlesztés és a környezet kapcsolatát érintik, vizsgálva annak lehetőségét, hogy a várható változás és mértéke, a környezeti hatás dominanciája alapján pontosabb becslési eredményekhez jussunk. Ezek a kérdések a környezeti kockázatok tartalmának meghatározásával is összefüggésben vannak.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ALE, B.J.M., PIERS, M., The assessment and management of third party risk around a major airport, *Journal of Hazardous Materials* 71 2000 1–16
- [2] BERA JÓZSEF, POKORÁDI LÁSZLÓ, *Helikopterzaj elmélete és gyakorlata*, Campus Kiadó, Debrecen, 2010.
- [3] BERA JÓZSEF, Ipari helikopteres repülés környezeti hatása, *Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban* 2010, 89-94. ISBN 978–963–7064–23–4., [www.mfk.unideb.hu/mszb/muszfuz](http://www.mfk.unideb.hu/mszb/muszfuz).
- [4] BERA JÓZSEF, Repülési zaj értékelése, *Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban* 2007, 5-14. [http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz\\_fuz\\_jo\\_04.pdf](http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_jo_04.pdf)
- [5] BERA JÓZSEF, Repülőtér létesítés és környezeti zajvédelem, *Repüléstudományi Közlemények Különszám*, 2009. április, Szolnok, CD kiadvány. [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Bera\\_Jozsef.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Bera_Jozsef.pdf)
- [6] MUDRA ISTVÁN, Légtér- és eljárásváltozások a „Budapest TMA”-ban, XV. Repüléstudományi Napok XV. Repüléstudományi Napok, 2005.
- [7] PIERS, MICHEL, The development and application of a method for the assessment of third party risk due to aircraft accident in the vicinity of airports, *Proc. Of the 19<sup>th</sup> Congress of the ICAS*, Anaheim, California, USA, p. 507 – 518.
- [8] POKORÁDI LÁSZLÓ, MADARÁSZ LÁSZLÓ, Kockázati tényezők és kockázatkezelési példák a katonai repülésben, *Új Honvédségi Szemle*, Budapest, 1999/12, p. 7–16.
- [9] POKORÁDI LÁSZLÓ, Kockázatkezelés a repülésben, *Repüléstudományi Közlemények*, ZMNE RTI, Szolnok, 1999/1, p. 65–77.
- [10] POKORÁDI LÁSZLÓ, A repülőterek körüli madárveszély vizsgálata, *Haditechnika*, Budapest, 2005/4, p. 16–20.



Dr. Schuster György Phd.<sup>1</sup> – Terpezcz Gábor<sup>2</sup>

## FUZZY LOGIKA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE AUTOMATA REPÜLŐ SZERKEZETEK BEN<sup>3</sup>

*Az előadás röviden összefoglalja a fuzzy logika legfontosabb tulajdonságait és ismerteti néhány alapvető fuzzy ismérvet, ezek működésére és nem matematikai háttérükre koncentrálva. A bevezető rész után egy robot repülő és egy robot helikopter fuzzy irányításának egyszerűsített vázlatát tárgyalja bemutatva a fuzzy irányítás előnyeit és esetleges hátrányait. Az előadás utolsó részében javaslatot tesz a fedélzeti vezérlő felépítésére.*

### **POSSIBLE APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN AUTOMATIC FLYING MACHINES**

*This presentation deals with some important features of fuzzy logic focusing their working and not mathematical background. After this part it shows simplified fuzzy control of a UAV and a robot helicopter and mentioned some advantage and disadvantage of this method. In the last part it makes a suggestion for the possible control structure.*

## I. BEVEZETÉS

Lofti Askar Zadeh 1965-ben publikálta a Fuzzy sets című cikkét az Information and Control című folyóiratban. A fuzzy logika az eltelt közel 50 évben a műszaki és hétköznapi élet számos területén elterjedt. Rendkívül alkalmas olyan feladatok megoldására, amelyek matematikailag nehezen, vagy egyáltalán nem foghatók meg, de ember által kézben tarthatók és kezelhetők.

Intézetünkben a hallgatók a projekt tantárgy és a szakdolgozat keretein belül számos esetben terveznek és készítenek el autonóm járműmodelleket, ezek irányításában a fuzzy rendszerek nagyon jól használhatók.

Ebben az előadásban elemezzük, hogy a fuzzy logika alkalmazható-e a repülésben és ha igen azt milyen mértékben és hol célszerű használni. Mintapéldaként két jelenleg is tervezés és építés alatt lévő eszközt ismertetünk, természetesen nem a teljesség igényével. Reméljük, ha az intézet anyagi lehetősége megengedi a jövő évi konferencián már a gyakorlati tapasztalatainkról is beszámolhatunk.

---

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet  
schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Műszertechnikai és Automatizálási Intézet,  
terpezcz.gabor@kvk.uni-obuda.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, Debreceni Egyetem,  
pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

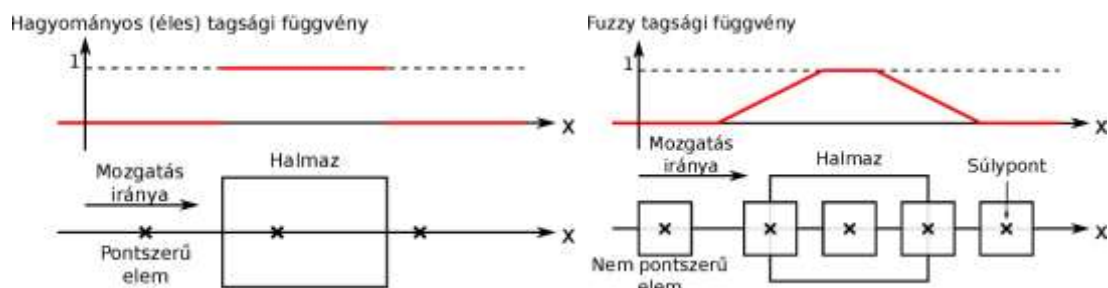
## II. FUZZY LOGIKA

A fuzzy logika egy többértékű logika, amely a 0–1 tartományban minden értéket felvehet el-  
lentétben a hagyományos logika 0 (hamis) és 1 (igaz) értékével szemben. A következő ábra  
egy egyszerű geometriai példát és magyarázatot ad erre a „gondolkodásmódra”.

Tegyük fel, hogy van egy adott halmazunk és van egy pontszerű elemünk, ha az elemünket az  
X irányban mozgatjuk és azt vizsgáljuk, hogy az elem benne van-e a kérdéses halmazban  
vagy nincs. Ha nincs benne, akkor a kérdésre hamis a válasz - vagyis a tagsági értéke '0', ha  
benne van, akkor a tagsági értéke '1'.

Ha nézzük az ábra második felét láthatjuk, hogy a kérdéses elemünk nem pontszerű, hanem  
van kiterjedése (esetünkben egy négyzet). Mozgassuk most ezt az elemet X mentén és a tag-  
sági értéket határozzuk meg úgy, hogy a mekkora hányada van a négyzetnek a halmazon belül  
az elem teljes terjedelméhez képest. Ehhez természetesen szükségünk van egy határozott vo-  
natkoztatási pontra az elemhez rögzítve. Ez esetünkben a négyzet súlypontja.

Láthatjuk, hogy a tagsági érték nem élesen '0' vagy '1', hanem az adott tartományban minden érté-  
ket felvehet. Azt a függvényt, amely a tagsági értéket leírja – tagsági függvénynek – nevezzük.



1. ábra Hagyományos és fuzzy tagsági érték értelmezése

Az előző esetben a tagsági érték segítségével mutattuk be a „fuzzy gondolatot”, de felhasználás  
szempontjából számunkra nem ez a legfontosabb. Esetünkben a fuzzy halmazokból kialakított  
logikai változók lesznek fontosak. Egy fuzzy halmaz matematikai definíciója a következő:

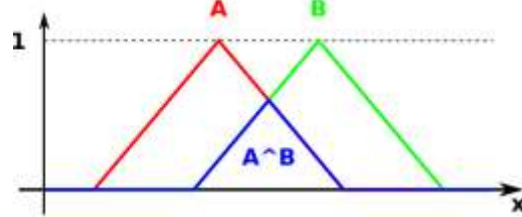
$$\tilde{A} = \{(x, \mu(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

A fuzzy logika néhány fontos művelete.

### 2. 1. És művelet

Az és műveletet az úgynevezett 't' normák csoportja valósítja meg. Mi a leggyakrabban hasz-  
nált minimum operátort használjuk (lásd ábra). Az operátor a két tagsági értékből a kisebbet  
választja kimeneti értéknek. A műveletet leírása:

$$\mu\{\tilde{A} \wedge \tilde{B}\} = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)) = \begin{cases} \mu_{\tilde{A}}(x), & \text{ha } \mu_{\tilde{A}}(x) < \mu_{\tilde{B}}(x) \\ \mu_{\tilde{B}}(x), & \text{ha } \mu_{\tilde{A}}(x) > \mu_{\tilde{B}}(x) \end{cases} \quad (2)$$

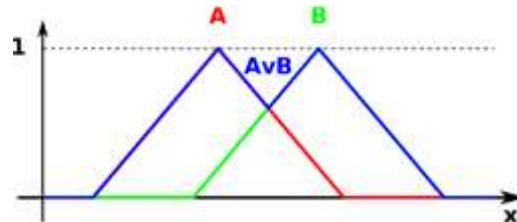


2. ábra Minimum művelet, mint fuzzy és művelet

## 2. 2. Vagy művelet

A vagy műveletet az 's', vagy más néven a 'co-t' normák csoportja valósítja meg. Számunkra az úgynevezett maximum operátor használata célszerű. Az operátor a két tagsági értékből a nagyobbat választja kimeneti értéknek. A művelet leírása:

$$\mu\{\bar{A} \vee \bar{B}\} = \max(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(x)) = \begin{cases} \mu_{\bar{A}}(x), & \text{ha } \mu_{\bar{A}}(x) > \mu_{\bar{B}}(x) \\ \mu_{\bar{B}}(x), & \text{ha } \mu_{\bar{A}}(x) < \mu_{\bar{B}}(x) \end{cases} \quad (3)$$

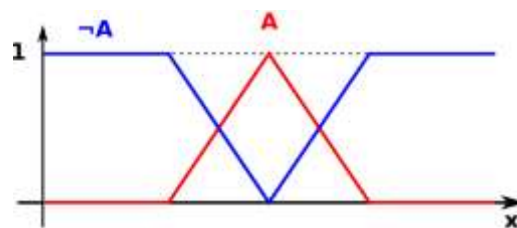


3. ábra Maximum művelet, mint fuzzy vagy művelet

## 2. 3. Nem művelet

A tagadás műveleteknek is több megvalósítása lehetséges. Az előzőekhez hasonlóan a legegyszerűbb operátort választottuk. A művelet leírása:

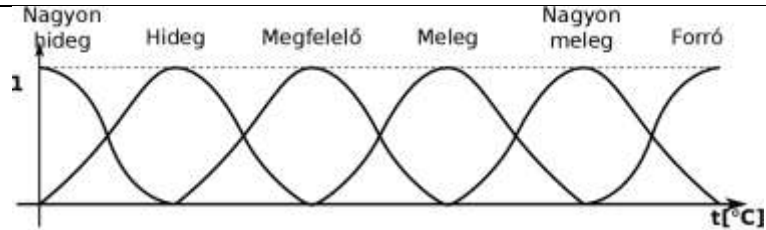
$$\mu\{\bar{\bar{A}}\} = 1 - \mu_{\bar{A}}(x) \quad (4)$$



4. ábra Fuzzy nem

## 2. 4. Nyelvi változók

A fuzzy rendszerek leírására célszerűen úgynevezett nyelvi változókkal történhet meg. A nyelvi változókat partíciókba rendezzük. Például a vízhőmérséklet partíció nyelvi változói: nagyon hideg, hideg, megfelelő, meleg, nagyon meleg, forró.



5. ábra Nyelvi változók egy hőmérsékleti skálán

Természetesen ezek a fuzzy változók konkrét számértékeket takarnak.

A fuzzy irányítás esetén egy úgynevezett szakértői irányítást valósítunk meg. Az irányítás egyszerűsített vázlata a 6. ábrán látható.

## 2. 5. Az irányítás részei

Bemeneti jele(k) konvertálása:

A bemeneten mérési eredmények jelennek meg, amelyekből fuzzy bemeneti jelet kell előállítani. Ez esetünkben azt jelenti, hogy az adott bemeneti jelből egy úgynevezett normált szingletont állítunk elő.



6. ábra Fuzzy irányítás vázlata

$$\mu\{\tilde{S}_{x_0}\} = \begin{cases} 1, & \text{ha } x = x_0 \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (5)$$

A normált szingleton egy speciális fuzzy halmaz, amely csak egyetlen pontból álló '1' tagsági értékű tagsági függvényt tartalmaz. A szingleton matematikai leírása.

Szabályrendszer: a szabályrendszer egy úgynevezett „ha – akkor” szabályrendszer, amely a bemeneti partíciókban szereplő nyelvi változók felhasználásával írja le a döntéseket.

Példa a ha – akkor szabályrendszerre:

- **ha** az állásszög nagy pozitív **és** a sebesség kicsi, akkor nyomd nagyon **vagy**,
- **ha** az állásszög közepes pozitív **és** a sebesség kicsi, akkor nyomd nagyon **vagy**,
- **ha** az állásszög a kis pozitív **és** a sebesség kicsi, akkor nyomd közepesen **vagy**,
- **ha** az állásszög semleges **és** a sebesség kicsi, akkor nyomd kicsit **vagy**,

A döntés modul: a szabályrendszer alapján egy úgynevezett fuzzy döntést hoz létre. Erről később még részletesen beszélünk.

Kimeneti jelek konvertálása: a fuzzy döntés eredménye egy fuzzy változó, amelyet közvetlenül nem tudunk felhasználni. Ezért szükségünk van egy konverzióra. Számunkra a legkézenfekvőbb megoldás a fuzzy változó súlypontjának vízszintes tengelyre vett vetülete.

## 2. 6. Egyszerű példa egy egybemenetű - egykimenetű (SISO) rendszerre.

Példa egy állásszög irányítást modellez.

Azt itt bemutatott példánál a számos fuzzy döntés közül az úgynevezett Mamdaniféle döntést fogjuk bemutatni. Ennek egyrészt terjedelmi okai vannak, másrészt tapasztalataink szerint a Mamdani döntés előnyeit és hátrányait tekintve a legjobbnak bizonyult.

Feltételezzük, hogy az állásszöget három szabállyal írjuk le és a magassági kormány állásszögét szintén három szabály reprezentálja. A szabályozási cél a semleges állásszög tartása.

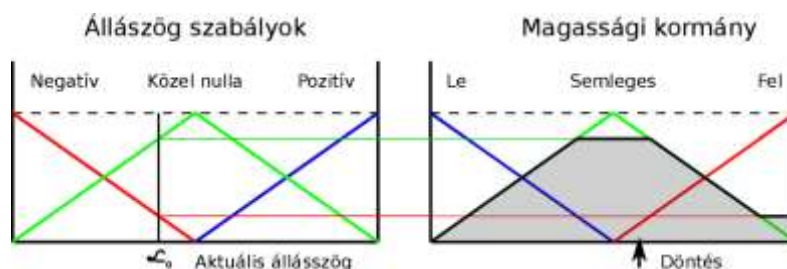
A szabályrendszer szöveges megfogalmazása:

Ha az állásszög		a magassági kormány szöge		
negatív	akkor	fel	vagy	
semleges	akkor	semleges	vagy	
pozitív	akkor	le		

Az állásszög adó bemeneti jelét szingletonná konvertáljunk. Ennek a szingletonnak a bemeneti szabályokon vett metszeti magassága az állásszög az adott nyelvi változóra vett tagsági értéke. Ezzel az értékkel dolgozunk tovább.

A Mamdani döntés esetén ezzel a metszeti értékkel minimum kapcsolatba hozzuk a megfelelő bemeneti szabály kimeneti szabálpárját, mintegy levágjuk a felső részét. Majd az így kapott kimeneti szabályokat a maximum operátor segítségével egyesítjük. Az így kapott fuzzy halmaz a fuzzy döntés.

Ezt természetesen még nem használhatjuk fel közvetlenül. A fuzzy döntést egyetlen éles értékre kell konvertálnunk, ami esetünkben a súlypont számítással történik. Ekkor megkapjuk a kívánt magassági kormány állásszöget.



7. ábra SISO Mamdani döntés

Az előző példában nagyon szabályos klasztereket láttunk, az igényeknek megfelelően nem szükséges az ennyire „szép” megoldás, a szabályok formája az igényekhez igazodhat.

A példában szereplő 3–3 elemű szabályrendszer túl kicsi a valóságban minimum 5, de inkább hét vagy annál több szabály alkot egy klasztert.

## 2. 7. Példa több bemenetű – egy kimenetű rendszerre

A példában egy sebesség, állásszög, magassági kormány döntést vizsgálunk meg. Az egyszerűség kedvéért a bemeneti klaszterek és a kimeneti klaszter is csak három – három – három szabályt tartalmaz.

Az állásszög klaszter a negatív (N), közel nulla (Z) és pozitív (P) szabályokat tartalmazza. A sebesség klaszter szabályai rendre: kicsi (K), megfelelő (M) és nagy (T).

Az állásszög klaszter szabályai: le (L), semleges (S) és fel (F).

Ekkor a szabályok összerendelésére célszerű egy táblázatot használni, ahol a táblázat élei a bemeneti szabályok, a belsejében az ehhez rendelt kimeneti szabályok találhatók. Ennek a táblának a neve fuzzy asszociációs tábla (FAM).

		Állásszög		
		N	Z	P
S e b e s s é g	K	S	L	L
	M	S	S	S
	T	F	F	S

A példában feltételezett szabálymetszetek:

- sebesség: K=0,2; M=0,8; T=0;
- állásszög: N=0,3; Z=0,7; P=0.

Láthatjuk, hogy ez érdemben két kimeneti szabályt érint, az S, az L. Mivel a szabályrendszer összerendelése és – vagy, tehát ha a sebesség kicsi (K) és az állásszög negatív (N), akkor legyen a magassági kormány semleges, vagy ... a sebesség megfelelő (M) és az állásszög negatív (N), akkor legyen a magassági kormány állása legyen semleges, illetve ... ha a sebesség megfelelő (M) és az állásszög közel nulla (Z), akkor a magassági kormány állása legyen semleges (S), ...

Ekkor a „K” és „N” értékek közül az és kapcsolat miatt a kisebbet választjuk, tehát a táblázat „KN:S” cellájára vonatkozó eredeti bemeneti érték 0,2; a „KZ:L”-re 0,2; az „MN:F”-re 0,3 és az „MZ:S” 0,3. A többi cellára vonatkozó érték 0.

Láthatjuk, hogy az „S” kimeneti szabályt háromszor is érintettünk eltérő 0.2, 0.3 és még egyszer 0,3-as értékekkel. A vagy kapcsolat miatt a nagyobbat választjuk. Így a kimeneti fuzzy döntésben a következő szabályok vesznek részt: L=0,2; S=0,3. Az ... ábrán láthatjuk, hogy ez enyhe negatív állásszöget eredményez.

Felmerül az a kérdés, hogy milyen módon kezelhető egy rendszer, ha kettőnél több bemenete van. Ekkor több lehetőségünk van, ezek:

- a táblát bővítjük az élén, vagy az élein tovább;
- adott bementi üzemállapotoknak megfelelően új és új táblákat hozunk létre új szabály-



rendszerekkel (általában éles döntések alapján);

- többszintű fuzzy rendszert hozunk létre;
- hagyományos irányítási rendszereket is bevonunk az eszköz irányításába.

Abban az esetben, ha több bemenetű, több kimenetű (MIMO) rendszerünk van – ez a leggyakoribb a valóságban – törekednünk kell arra, hogy a rendszert több MISO rendszerre bontsuk, fokozottan ügyelve a dinamikai csatolások egymásra hatására.

### III. REPÜLŐ SZERKEZETEK

Hallgatóink két repülő szerkezetet választottak, ezek:

- segédmotoros RC vitorlázó modell, ennek az elemei megvásárolhatók;
- speciális háromszög alakú hexakopter.

Az első esetben túl sok munka nem várható a modellen, mivel a géptest adott, a szervók gyárilag be vannak építve rendelkezésre áll a fedélzeti vevő, tehát a gép irányított repülésre alkalmas. Ebbe a gépbe kell beépíteni azokat a járulékos eszközöket, amelyek az automatikus repülésre alkalmasak oly módon, hogy az eredeti RC irányítás megmaradjon.

#### 3. 1. Segédmotoros vitorlázó

A gép kiválasztásánál alapvető szempont volt, hogy ne legyen túlságosan gyors és elegendően nagy legyen teherbírása, hogy a járulékos elektronikát a járulékos tápellátással elbírja.

A gép tervezett műszerezettsége a következő, egy GPS vevő, amely szolgáltatja a gép térbeli pozícióját. Ebből az adatból számíthatjuk a gép sebességét emelkedését és süllyedését. Pontossága sajnos csak hobbi célokra elegendő, de a modell nem bír el valódi akrobatikus műszereket. Háromtengelyes gyorsulásérzékelő, amely gép X, Y, Z tengelyei mentén fellépő gyorsulásait méri. Ez elég sok problémát okoz az előzetes mérések alapján, mert ezek az eszközök érzékenyek a motor által keltett rezgéseket. Megoldás, hogy megfelelő szűrőalgoritmusokkal simíthatók ezek az adatok, azonban ez problémát jelent a gyors mozgásérzékelőknél. Nagyon jó lenne kisméretű valódi giroszkóp, hogy a gép helyzetét valós koordinátarendszerben is mérni tudjuk, de ez ebben az esetben számunkra nem járható út.

A gép alapvetően egyetlen üzemmódban működik adott utat jár be, amelyet előre programoztunk. A gép az előre programozott profilnak megfelelően változtatja magasságát és irányát. Sebességét nem változtatja programozhatóan, azonban ereszkedéskor csökkenti a motor fordulatszámát emelkedéskor növeli azt. Fordulókban szintén növeli a motor teljesítményét és próbál optimális  $20^\circ$  bedöntésű fordulókat végrehajtani a navigációs fordulópontokon.

A gépen mindhárom kormányra és a motorra egyedi fuzzy irányító rendszert építünk figyelembe véve a többi tengely mentén történő kormányzást. Például forduló esetén a csűrő és az oldalkormány összehangoltan működik a csúszás elkerülése céljából. Ugyanígy a magassági kormány is kismértékben húzott.

Felmerült a kérdés, hogy mi történik, ha a gép extrém helyzetbe kerül, vagyis kívül kerül az automata repülés irányító rendszer értelmezési tartományán. Ekkor két lehetőség adott, az egyik, hogy a földi irányító átveszi a gép vezetését, mert felül bírálhatja a fedélzeti vezérlőt, a

másik, hogy a vezérlés „elengedi” a kormányokat és a gép – ha van helye – stabil helyzetbe áll, ekkor a vezérlés visszaveheti a kormányzást.

A fuzzy szabályrendszerek bemeneti klaszterenként hét – hét szabályt tartalmaznak klaszterenként, a motor kimeneti szabály három szabályt a csűrő, az oldalkormány és a magassági kormány szintén hét – hét szabály tartalmaz.

Hogyan határozzunk meg a szabályokat. Az olvasó azt gondolhatná, hogy ennek a résznek az elméleti összefoglalásnál lenne a helye, de a fuzzy irányítás ebben az esetben az RC pilóta tevékenységét modellezi, ezért került ez a gondolatkör ide.

A számunkra célszerű megoldás, hogy a felszerelt gépet egy tapasztalt RC pilótával reptetjük és rögzítjük a mérési eredményeket és a pilóta akcióit, ezeket a regisztrátumokat kiértékeljük, majd ezek alapján beállítjuk a bemeneti és kimeneti szabályokat, amit ezek után tovább finomíthatunk. Ennek eredményeként elkerülhetjük az eredendően hibás beállításokat.

Természetesen lehetőségünk van arra is, hogy adaptív rendszert építsünk. Ehhez azonban nagyobb kapacitású beágyazott vezérlőre van szükségünk.

### 3. 2. Hexakopter

A hexakopter nem a hagyományos hat emelőcsavaros, hanem a három felső három alsó rotoros megoldás. A rotor párok a helikopter test tetején és az alján található páronként koaxiális jellegű elrendezésben. Ennek egyetlen előnye a rotorátmérőkhöz mérten kicsi mechanikai méret és a relatív nagy emelőerő. A rotorok saját egyéni motorokkal vannak meghajtva a rotorok merev (nem csuklós mechanikájú) kétágú légcsavarok. A repülőtestet strukturálisan stabilnak tervezzük, súlypontját jóval a rotorsíkok alá tesszük.

A kormányzás nagyon egyszerű. Az emelkedés süllyedés a motorok fordulatszámának egyidejű változtatásával, a függőleges tengely körüli elfordulás a felső és alsó rotorsík motorjainak eltérő fordulatszámmal történő történő hajtásával, az előre - hátra haladás a „hátsó” rotorpár fordulatszám változtatásával történhet. A bedöntés ebben a mechanikában csak összetett vezérléssel történhet. Természetesen tudjuk, hogy kormányzás esetén az összes rotorpárt komplex módon kell kezelnünk. Mivel ez a mechanika nem szokványos, ezért a klasszikus RC irányítás nehézkes és a gyári vezérlők sem igazán megfelelőek, tehát az egész fedélzeti elektronika kifejlesztése előlről történik.

Elengedhetetlen biztonsági megfontolások miatt a kézi irányítás lehetősége, ezt szintén egyedi megoldás segítségével kívánjuk biztosítani. Nem a szokványos rádiós RC technikában ismert megoldásokkal, hanem ZigBee kapcsolaton keresztül valósítjuk meg. A fedélzeti kontroller soros interfészét használjuk és összetett parancsokat közlünk. A tervezett távirányító egy eePC botkormányval.

Az irányítási feladatok a következők:

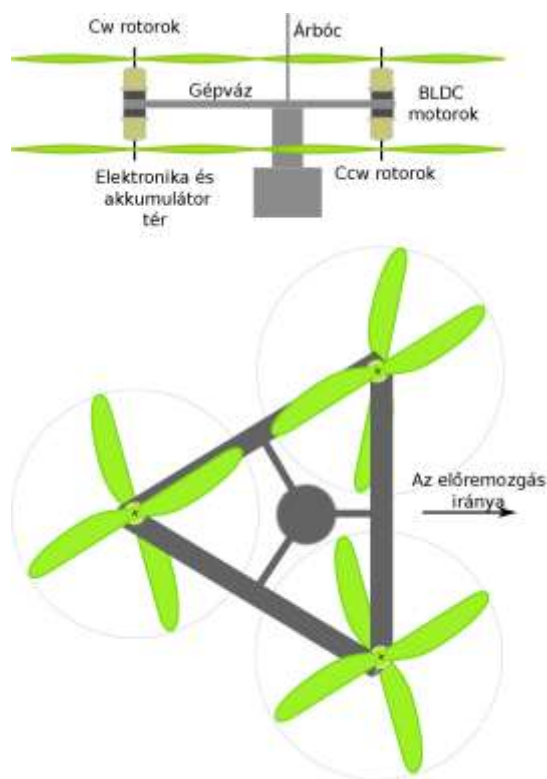
- függőleges emelés és teheremelés lehetőségekhez mérten a gázkarállással arányosan;
- vízszintes előremozgás magasságváltozás nélkül;
- elfordulás adott szögsebességgel álló helyzetben magasságváltozás nélkül;
- elfordulás haladás közben csúszás nélkül;

- pozíció tartása zavarás mellett (pozíció visszaszerzés).

Az alkalmazott érzékelők, egy kis pontosságú GPS vevő X, Y, Z irányban gyorsulásérzékelők, tangenciális irányban gyorsulásérzékelők.

A BLDC hat motor egyedi szabályozással rendelkezik. Ezt a fedélzeti kontroller végzi motoronkénti frekvencia és PWM hajtással. Ezeket a kimeneti paramétereket és csak ezeket tudjuk befolyásolni.

Látható, hogy a hexakopter minden paramétere hat minden paraméterére, a dinamikailag stabil felépítés miatt viszont ember több – kevesebb sikerrel képes irányítani (a pilótának sebességi problémái lennének), ezért a fuzzy irányítás megfelelő alternatíva. Bár biztosan megoldható klasszikus irányítástechnikai módszerekkel is a modell reptetése, de igazából nincs pontos dinamikai modellünk és nem akarunk túl nagy számítási kapacitást sem a fedélzetre telepíteni.



8. ábra Hexakopter vázlata

Példaként nézzük meg mire kell figyelni a „hátsó” rotorpár felső rotorjánál, (nem ha – akkor szabályonként).

- emelkedésnél növeld a fordulatot;
- süllyedésnél csökkentsd a fordulatot;
- előre haladásnál növeld a fordulatot;
- hátra felé haladásnál csökkentsd a fordulatot;
- jobbra forduláskor növeld a fordulatot;
- balra forduláskor csökkentsd a fordulatot;
- bedőlésnél növeld a fordulatot.



Láthatjuk, ha ezeket a szabályokat klaszterekbe rendezzük, akkor számos szabályt és FAM táblát kapunk. Ez azt jelenti, hogy a vezérlőnek relatív nagy memóriakapacitással kell rendelkeznie.

### 3. 2. 2. A vezérlő

A vezérlőnek több követelményt is ki kell tudni elégíteni.

Ezek:

- kellő műveleti sebessége kell legyen motoronként legalább nyolc klaszter kezelésére ez klaszterenként hét – hét szabályt jelent;
- kellő memória kapacitás szükséges a szabályok tárolására, ez szabályonként 256 bájt, tehát ez durván 14 kbájt memóriát jelent;
- elegendő bemenettel kell rendelkeznie a gyorsulásérzékelők jeleinek fogadására, ez négy analóg jel;
- rendelkeznie kell soros interfésszel a ZigBee modullal történő kapcsolattartásra;
- kezelnie kell a hat motorhajtást;
- könnyen előállítható kell legyen;
- beszerezhető alkatrészekből épüljön fel.

A fentiek alapján a választott vezérlő egy ARM Cortex M3 magos controller 256 kbájt flash és 96 kbájt RAM területtel. A kívánt órajel frekvencia 50 MHz.

A hajtások kiegészítő áramköri elemekkel a háromfázisú jelet egy alapórajelből állítják elő és ez a jel kerül a teljesítmény FET-ekből álló végfokra.

## IV. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eddigi vizsgálataink és kísérleteink azt igazolják, hogy egyszerű repülőszervezetek fuzzy irányítása lehetséges. Nagyon reméltük, hogy a félév közepére legalább az egyik eszközt el tudjuk készíteni. Sajnos a költségvetésünk korlátozása miatt ez nem volt lehetséges. Reméljük, hogy a következő konferencián már a gyakorlati tapasztalatokról tudunk beszámolni.

Ki szeretnénk emelni, hogy a fuzzy irányítás nem a „legjobb” megoldás az adott feladatra, hanem egyike a lehetséges módzatoknak. Nagy előnye, hogy viszonylag kis matematikai háttérrel és számítási igénnyel megoldhatók a feladatok, ezért is tudunk fixpontos vezérlőt alkalmazni, ami mind árban, mind megvalósításban nagyon kedvező.

A fuzzy irányítás legnagyobb hátránya a szabályok memórafogyasztása, ezeket tömbökben helyezzük el, ezért viszonylag sok tárterületre van szükség. Lehet a szabályok számát csökkenteni, viszont ez járulékos számítási munkával jár és ezt szeretnénk elkerülni.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets". Information and Control 8 (3)
- [2] Neszedva J. Automatika I. Példatár, BMF KVK Elektronikus jegyzet 2011
- [3] Schuster György „Fuzzy döntési eljárások összehasonlítása irányítástechnikai szempontból” Alkalmazott matematikai lapok 20 (2000)

Szerecz Bálint<sup>1</sup> – Dr. Békési Bertold<sup>2</sup>

## HEAD-UP DISPLAY-EK FEJLŐDÉSE<sup>3</sup>

*A repülőgépek fejlődésével és rendszereinek bonyolultabbá válásával a pilótafülkében egyre több műszer felhalmozása vált szükségessé. Az információ mennyisége egy idő után elérte azt a mértéket, hogy a hajózó nem tudta összehangolni, és eredményesen felhasználni őket. Le- és felszállás vagy légiharc során, veszélyt jelenthetett, ha a pilótának egyszerre kellett a műszereket és a kifutópályát (ellenséget) figyelnie. A cikk ezen problémák kiküszöbölésére szánt eszköz a Head-Up-Display (HUD) fejlődésének útját kíséri végig, a reflexüveges célzókészülékektől a napjainkban alkalmazott eszközökig, valamint említést tesz a jövőbe mutató, fejlesztésekről, lehetőségekről.*

### DEVELOPEMENT OF HEAD – UP DISPLAYS

*The advancement of aircrafts made aircraft-systems more sophisticated, so it was necessary to place more and more instruments in cockpits. The amount of information reached a level when the pilot can't handle them efficiently. It caused dangerous situations when the pilots must watch the cockpit instruments and the planes environment at the same time, over a landing manoeuvre or a dogfight. This article presents the solution for the lately mentioned problems, the evolution of Head-Up-Displays (HUD) from the reflector gunsight to the modern HUDs. Furthermore it describes the future developments and research possibilities*

## BEVEZETÉS

Abban mindenki egyetért, hogy a gépkocsi bonyolultságú járműveken, legalább egy műszernek segítenie kell az azt irányító személyzetet, hogy az üzembiztonság a megfelelő szinten maradjon. A légi járműveken sincs ez másként, de mivel működésüket biztosító rendszerek komplexek, valamint 6 szabadságfokú mozgásra képesek, jóval több műszer szükséges ahhoz, hogy a repülőgépvezető megfelelően képes legyen kezelni járművét. A repülés egyes fázisaihoz jellemzően nem szükséges a fedélzeten található összes műszer, de előfordulnak olyan, a pilótát pszichikailag nagymértékben leterhelő helyzetek, amikor nagymennyiségű információ feldolgozására rövid idő áll rendelkezésre. Ha ő ekkor már fáradt, és nem dolgozza fel kellő ütemben a biztonságos repüléshez elengedhetetlen információkat, annak kimenete végzetessé válhat, ezért szükséges a személyzet leterheltségének határait szűkebbre venni. Az egyik ilyen eszköz e célra, a head-up display.

Az alábbi cikkben, az előbb említett kijelző fejlődésének történetével ismerkedhetünk meg. Kezdetben a reflexüveges és giroszkópos célzókészülékekkel, melyek alapként szolgáltak a head-up displayek megalkotásában. Majd néhány fontosabb mérföldkő kerül említésre, mind a

<sup>1</sup> honvéd tisztjelölt, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, szereczbalint@gmail.com

<sup>2</sup> okl. mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Szilvássy László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, szilvassy.laszlo@uni-nke.hu

katonai, mind a civil felhasználásból. Végül röviden betekintünk a jövőt jelentő lehetőségekbe.

## A HEAD-UP DISPLAYEK ÖSE: CÉLZÓKÉSZÜLÉKEK

A legkorábbi célzókészülékek alkalmazására, csakúgy, mint a repülőgépek első katonai alkalmazására az I. világháborúban került sor. Bár kezdetben a légi harcokat még kézfegyverekkel vívták, és a földi célok támadása is kézből ledobott kezdetleges bombákkal történt, mindkét esetben igen alacsony találati pontossággal és csekély tűzerővel. A technika fejlődése lehetővé tette a sorozatlövésre alkalmas fegyverek alkalmazását a levegőben. A legáltalánosabb a repülőgép orrában történő elhelyezés és összehangolás a légcsavarral, hogy lövészet során az ne szenvedjen találatot. A repülőgépeken ekkor jelentek meg a rögzített mechanikus célzókészülékek, melyeknél a célzás két mechanikus elem alkotta célgömbbel történt. A célzókészülék két hátránnyal is bírt, az egyik, hogy az idővel gyorsabbá váló repülőeszközökre csak kis pontossággal lehetett vele tüzelni. [1]

A másik negatívum a parallaxis jelenségének megléte volt. A parallaxis egy a szemlélő látómezejében elhelyezkedő két tárgy, egy közelebbi és egy távolabbi által bezárt szög. Ha a szemlélő a közelebbi tárgy mögött helyezkedik el, akkor, ha lép egyet oldalra a két tárgy által bezárt szög megváltozik, ennek nagysága függ attól, hogy a szemlélő és a távolabbi tárgy között hol helyezkedik el a közelebbi objektum. A vadászipilótát tekintve a szemlélő a pilóta, a közelebbi tárgy a célgömb a távolabbi pedig a célpontot nyújtó gép. Ebből adódik, hogy viszonylag távoli célok ellen lehetetlen volt alkalmazni.

A hátrányok kiküszöbölése érdekében kezdték el alkalmazni már az 1918-as évektől a repülőgépeken a Sir Howard Grubb által megalkotott kollimátoros<sup>4</sup> célzókészüléket, melynek alapelveit már 1900-ban lefektette feltalálója. Felépítését tekintve ez egy optikai célzókészülék mechanikus elemekkel. Működési elve a következő: egy égő fénye egy lencsén keresztül egy tárcsára esik, amelyen a vágatok úgy lettek kialakítva, hogy az azon áthaladó fény megalkossa a több körből álló célgyűrű képét, majd ez a kép lencsék és tükrök alkotta rendszeren (optikai rendszer) keresztül kerül kivetítésre egy megdöntött üveglapra, amiről aztán a fény egy része a vadászipilóta szemébe kerül. Ezt az üveglapot, más néven reflexüveget úgy helyezték el a pilótafülkében, hogy a fej nagyobb mértékű mozgása nélkül lehessen elvégezni segítségével a célzást. A célgyűrű több körből való kialakítása arra szolgált, hogy a pilóta könnyen meghatározhassa a szükséges előretartást. [1][2]

Az elrendezés következtében egy bizonyos nagyságú látómező jött létre (angolul field-of-view, FOV). A FOV a pilótát körülvevő tér azon szelete melyet a reflexüvegen keresztül még képes belátni. Ez szögértékben szokás megadni mind vízszintes, mind pedig függőleges irányban. A látómező nagyságát akkoriban a reflexüveg és a kollimátor lencse mérete határozta meg leginkább. Innen kapta az elnevezését is kollimátoros célzókészülék.

A parallaxis hatás kiküszöbölése oly módon történt, hogy általában az optikai rendszer utolsó lencséjén, a kollimátor lencsén következett be a kép „végtelenbe” történő fókuszálása. Így ha

---

<sup>4</sup> kollimátor - (lat.), készülék, amely arra szolgál, hogy a belépő fénysugarakat párhuzamossá tegye. Lényegében egy cső, amelyben kettősen domború lencse (lencse-rendszer) foglal helyet.

a célgyűrű középpontjában cél helyezkedett el és tegyük fel hogy a pilóta szeme nem várt módon pár centivel arrébb került, akkor még mindig azt látta a reflexüvegen, hogy a repülőgépén található fegyverzet csöve melyik pontra irányul.

A kollimátoros célzókészülék alkalmazása szinte a legtöbb vadászgépen és bombázón elterjedté vált az 1930-as évekre, de ezzel még nem vettek ki teljesen a régmódi mechanikus felépítésű társaik. Az alapelv alkalmazásra került még légvédelmi ágyúkon, harckocsikban és napjainkban is igen elterjedt a kézfegyverek optikai irányzékaként.

Az 1930-as évek végén, ahogy korszerűsödött a repülőgépek manőverező képessége, valamint egyre nagyobb sebességeket értek el, nehezebbé vált a légi harcok eredményes megvívása. Mivel a légijárművek mozgása kevésbé volt kiszámítható, ezért nagyon tapasztalt pilóták voltak csak képesek meghatározni az előretartás megfelelő mértékét. Szükség volt egy olyan rendszerre, amely képes volt segítséget nyújtani a vadászpilótáknak a helyes előtartást illetően.

Elsőként az angolok találták meg a megoldást. Az alaplevet Maurice Hancock dolgozta ki. Az előretartás szögét a rendszer egy pneumatikus giroszkóp segítségével alkotta meg, ezért a giroszkópos célzókészülék (gyro gunsight; GGS) elnevezés. Felépítésében nagyban hasonlít a kollimátoros elődjéhez, a különbség abban mutatkozik, hogy az optikai rendszerében található egy kör alakú tükör melynek állásszöge a repülőgép manőverezése következtében változik. A tükör elmozdulásához szükséges jelet pedig a giroszkóp dolgozta ki. A rendszer képes volt a helyesbített irányzóvonalat úgy kivetíteni, hogy kiküszöböljék a lövedékek ballisztikai tulajdonságai okozta eltérést is. A célzókészülék kezelőpanelén akkortájt két forgókapcsoló kapott helyet, az egyiket a fényerő a másikat a célok távolságának beállítására kellett alkalmazni. [2]

A célok távolságának becslése a következőképp történt: a célzókészülékben található izzó után 2 db tárcsa került beépítésre, az egyik a középpontból kiinduló, egyenes koncentrikusan elhelyezkedő bevágásokkal (radiális tárcsa), a másik tárcsán ugyanígy elhelyezkedő ívelt bevágásokkal (logaritmikus tárcsa), a két egymás fölé beépített tárcsán áthaladó fény, egy képzeletbeli kör mentén elhelyezkedő rombuszokból álló gyűrű (rombuszgyűrű) képét hozta létre. A távolságbeállító tekerésével a két tárcsa elfordult egymás mellett, így a rombuszgyűrű átmérője nőtt vagy csökkent. Ebbe az alakzatba kellett belehelyezni a célt, és a távolságbeállító segítségével úgy hangolni, hogy a cél beleférjen a rombuszgyűrűbe. Szükség volt a cél geometriai méretének ismeretére is (szárnyfesztség, teljes hossz). Mivel a heves manőverezés következtében a giroszkóp tulajdonságai miatt egyre pontatlanabbá vált a szükséges előretartás szög megjelenítése, ezért párhuzamosan alkalmaztak egy stabil célkeresztet is, ami a reflexüveg közepén helyezkedett el. A giroszkóp jelentette hátrány volt még a pörgettyű lassú beállása bekapcsolás után.

A giro célzókészülék első példányait 1941-ben Farnboroughban tesztelték, elnevezése Mark I volt. A szolgálatba állítás 1943-ig váratott magára, amikor is a Ferranti által gyártott Mark II típusú GGS-el szerelték fel az angol Spitfire és Hurricane vadászgépeket. A német oldalon a Carl Zeiss és az Ascania szakemberei 1935-től kezdve dolgoztak a megfelelő kialakításon sikertelenül, egészen 1942-ig, mígnem a németek elfogtak egy giro célzókészülékkel ellátott amerikai P-47-es vadászpilótálgépet, ami jó alapot szolgáltatott a saját kutatásaiknak. [3]



1. ábra. A Spitfirehez készített Mk II giro célzókészülék  
(forrás: <http://spitfiresite.com/2007/11/mark-ii-gyro-gunsight.html>)

A technika fejlődésével az 1950-es évek közepére egyre több repülési paraméter játszott szerepet a célgyűrű megfelelő mozgatásában. A folyamat gyorsabb és megbízhatóbb lett mivel a mechanikus részegységek helyét elektromosak vették át. Bővült a bevethető fegyverek száma, megjelentek az irányítható és nem irányítható rakéták. A céltávolság becslése légi célok esetén jóval pontosabbá vált, ha az a földi radarról érkezett, vagy ha a repülőgép rendelkezett saját radarral. Lehetőség nyílt a földi célok pontos támadására is. A célzókészülék már két részre bontható: egy analóg számító egységre és egy megjelenítő egységre. [3]

Az analóg számítógép a következő paramétereket dolgozta fel:

- a fegyver ballisztikai sajátosságait;
- a repülőgép barometrikus magasságát, állás- és csúszás szögét, különböző tengelyek körüli szögsebességét;
- valamint a cél szögsebességét, méretét és távolságát.

## KEZDETLEGES HUD-OK

Az előző felsorolásból látható hogy a célzókészülékek több olyan paramétert is felhasználtak, amelyeket a navigációs műszerek külön-külön megjelenítenek. A head-up display (szemmagasságú kijelző, homloküveg indikátor, HUD) előnye a hagyományos kijelzőkkel ellentétben abban rejlik, hogy a célzókészülékekhez hasonlóan közvetlenül a pilóta látóterében elhelyezett üveglapra (kombiner üveg, angolul combiner, reflexüveg) jelenítik meg a repülésben elengedhetetlennek számító információkat. Ennek eredményeként a hajózó nem kényszerül a



műszerfal periodikus figyelésére olyan körülmények között, amikor a külvilágra történő folytonos koncentráció és reakció életbevágó. Ilyen helyzetek lehetnek, például a manőverező légi harc, leszállás, felszállás, kismagasságú csapásmérés. Egy anyahajóra történő leszálláskor, mikor a kifutópálya folyamatosan változik, és még „halad” is, nincs idő a műszerekről a távolba és onnan vissza a műszerekre fókuszálni, hiszen az emberi szem számára ez csaknem 2-3 másodpercet vesz igénybe, a látási viszonyoktól függően.

Sokszor jelentett problémát a giro célzókészülékeknel a nem megfelelő fényerő. Erős természetes fény esetén előfordult, hogy a reflexüvegen visszatükröződött a pilótafülke képe. Szükség volt olyan eszközre, ami jobban látható képeket biztosít a pilóta számára. Az 1950-es évek végén az első homloküveg indikátorokban kezdték alkalmazni az akkor már fél évszázada ismert katódsugárcsőveket (cathode ray tube, CRT), mint új fényforrást. A CRT-ben található elektronágyú elektron nyalábot bocsát egy fluoreszcens ernyőre, melyen a sugár következtében zöld fény gerjesztődik. Az elektronsugár irányát, eltérítő tekercsek által létrehozott elektromágneses mező képes megváltoztatni, függőleges és vízszintes irányokban. Az elv alapján egyszerű vonalas alakzatok és alfanumerikus karakterek rajzolhatók a foszforernyőre.

Az angol haditengerészetben alkalmazott Blackburn Buccaneer csapásmérő repülőgépekre szerelték fel az első HUD-nak tekinthető kijelzőket 1958-ban. A kijelzőt a Cintel, később Elliot Flight Aviation gyártotta a Buccaneerek számára. A HUD a fegyverkezelés támogatásán kívül olyan navigációs adatokat is megjelenített, mint: műhorizont, magasság, sebesség, bólintási szög skála. Az említett adatok közvetlen észlelése lehetővé tette a viszonylag kis magasságokon történő támadást, így javítva a hatékonyságot és túlélő képességet. A Királyi Haditengerészet szolgálatában álló Buccaneerek pilótái számára jelentősen megkönnyítette a fedélzetre való leszállást. [4][5]



2. ábra. Blackburn Buccaneer HUD

(forrás: [http://www.rochesteravionicarchives.co.uk/View\\_Object?ObjectId=1097](http://www.rochesteravionicarchives.co.uk/View_Object?ObjectId=1097))

Mivel a head-up display egy új alkalmazás volt, természetesen akadtak akik kétségbe vonták hatékonyságát és szükségességét. Ennek oka nem csak az volt, hogy az avionikai rendszer összköltségének közel 10%-át tette ki, hanem az is, hogy tetemes tömeg többletet is jelentett. A gyakorlat azonban azt mutatta, hogy a HUD-al felszerelt repülőgépek pilótái sokkal hatéko-

nyabban voltak képesek irányítani légijárműveiket. A velük egy időben HUD-ok nélkül alkalmazott repülőgépekhez képest kisebb százalékban történtek leszállás közben katasztrófák.

Az Egyesült Államok légierijében szolgáló első HUD-al rendelkező repülőgép a Vought A-7 Corsair II könnyű csapásmérő feladatkört látott el, ezért széles körben alkalmazták a Vietnámi háborúban. A Marconi-Elliot által gyártott HUDWAS-ra (Weapon Aiming System – célzás rásegítő rendszer) indikátor került rá, mely nagymértékben támogatta a csapásmérő feladatok végrehajtását. Amellett, hogy az alap navigációs adatokat megjelenítette, a fegyverrendszer célzását különböző üzemmódokkal igyekezett hatásosabbá tenni. A Marconi-Elliot cég további elavultabb avionikájú repülőgép típusokra gyártott homloküveg indikátorral egybeépített célzó rendszert, mint például az F-4 Phantom, vagy A-4 Skyhawk, mivel a vietnámi háború rámutatott, ezen típusok hiányosságaira. A később beépített HUD-ok esetében figyelmet fordítottak a már meglévő avionikával való kompatibilis kialakításra. [6]



3. ábra A-7E HUD

(forrás: [http://www.rochesteravionicarchives.co.uk/View\\_Object?ObjectId=1104](http://www.rochesteravionicarchives.co.uk/View_Object?ObjectId=1104))

## FOLYAMATOSAN MEGJELENŐ ÚJÍTÁSOK

A hatvanas évek közepén indított új repülőgéptípusok létrehozására irányuló fejlesztések során egyre több repülőgépre tervezték a head-up display beépítését. Ekkor még előnyt élveztek a potensebb vadászgépek, mint például a Hawker Siddeley Harrier, vagy a közös európai összefogás alatt készülő MRCA (Multi Role Combat Aircraft – többcélú harcirepülőgép), mely végül a Panavia Tornado lett, valamint az amerikai YF-16, később F-16. A könnyű vadászgépeken, vagy kiképző gépeken leginkább még mindig a GGS-t alkalmazták néhány kivételtől eltekintve pl.: SEPECAT Jaguar. [7][8]

Az új HUD rendszerekben már a digitális technológia kezdetleges elemei kerültek felhasználásra. Az egyre növekvő memóriakapacitás megsokszorozta a HUD által megjeleníthető üzemmódok számát. Az első 2000 szavas beépített memória az általános navigációs paramé-

terek mellett légi célzást és manuális bombázást tett lehetővé. Az egy generációval jobb 4000 szavas memória már támogatta a CCIP (Continuously Computed Impact Point – folyamatosan számított becsapódási pont) segítségével történő bombázást. [9]



4. ábra. F-15E HUD CCIP üzemmódjának szimbólumai  
(forrás: <http://www.ausairpower.net/Profile-F-15A-D.html>)

Egy másik újítás volt a röppálya vonal vagy nyomjelző vonal (tracer-line) megjelenése. A HUD légi harc üzemmódban nem csak a célgyűrűt vetítette ki, hanem egy vonalat is, ami a lövedék várható röppályáját hivatott szimulálni. Az alakja dinamikusan változott a repülőgép manőverezésével együtt. Mivel már a fedélzeti radarok képesek voltak megállapítani a cél távolságát, azt könnyen értelmezhető módon kellett kijelezni a pilóta számára: ez egy olyan nyolcszöggel történt melynek oldalai egyenként 100 m távolságot jelentettek, ahogy közeledett az ellenséges repülőgép, úgy tűntek el egymás után a nyolcszög oldalai, ezzel szemléltetve a csökkenő távolságot. A pilóták elmondása szerint a nyomjelző vonal és a távolságjelző nyolcszög jelentősen megnövelte a találati pontosságot. [10]

A HUD-ok képesek lettek a fegyverzet állapotát is jelezni. Rakéták vagy bombák esetén annak típusát, rendelkezésre álló mennyiséget, a fedélzeti gépágyú(k), géppuska(ák) esetében a lőszer maradvány kijelzését. A HUD memóriájába betáplálhatóak voltak a repülési útvonal fordulópontjai, így a megfelelő szimbólumok követésével könnyebbé vált a navigáció. A beépített memória képes volt tárolni a célok, veszélyes légterek, és repterek helyzetét.

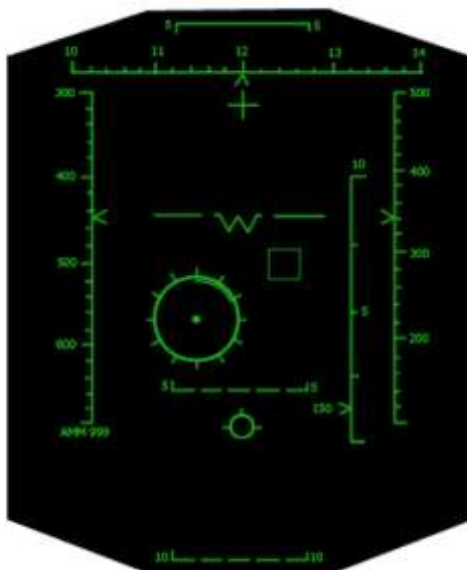
## ÁLTALÁNOS HUD ÜZEMMÓDOK ÉS A HOZZÁJUK TARTOZÓ SZIMBÓLUMOK

Mint általában a katonai repülésben, a HUD-tól elvárt működési paraméterek, üzemmódok és az általános szimbólumok is különböző katonai szabványok formájában került egységesítésre és rögzítésre. Az egységes szimbólumok megalkotását az USA légierője kezdeményezte 1991-ben. A tesztek során a már ismert HUD üzemmódokhoz a szimbólumok csoportjainak több kombinációját tesztelték. A projekt azért vált szükségessé, mert a gyártók saját belátásuk

szerint alkották meg a szimbólum csoportokat. Ezért fordulhatott elő, hogy a kiképző repülőgépeken megtanult jeleket a hajózó növendékek már nem tudták alkalmazni későbbi gépeken, de az átképzések során is időtöbbletet jelentett az oktatásban. Mindig az adott HUD sajátosságait kellett megszokni.

Az Amerikai Védelmi Minisztérium (USA Department of Defense, DoD) 1996-ban jelentette meg a MIL-STD-1787B szabványt melynek rendeltetése a katonai repülőgépeken alkalmazott elektro-optikai kijelzőkön (HMD, HUD, HDD) található szimbólumok egységessé tétele. Így a repülőgép vezetők könnyebben válhattak a típusok között. Máshonnan megközelítve, ha pilóta figyelmét áthelyezte a szemmagasságú kijelzőről a szem alatti kijelzők valamelyikére, nem kellett fejben átváltania az információkat. A kijelzők helyettesíthették egymást, esetleges meghibásodás esetén. [11]

Az esetleges változtatások nem jelentettek nagy problémát az alkalmazó légierők számára, mert a szimbólum generátor blokkok átprogramozása nem volt idő- és költségigényes feladat.



5. ábra. F-15E HUD levegő – légi harc célzás üzemmód szimbólumok  
(forrás: <http://www.ausairpower.net/Profile-F-15A-D.html>)

## CÉL: NAPSZAKTÓL FÜGGETLEN BEVETHETŐSÉG

A hetvenes évek közepére a navigációs rendszerek már olyan fejlettek voltak, hogy segítséggel teljesíteni lehetett az alacsony látási körülmények közti repüléseket, sőt a HUD-okon parancsközlő indexek mozogtak a magasság és sebesség függőleges skálái, valamint az irány-szög körcikk mellett. Az éjszakai bevethetőség nagy előnyt jelentet az ellenséges légvédelemmel szemben. Problémát jelentett, hogy a földi célok támadása nagyon kis határfokúnak bizonyult az erősen csökkent látási viszonyok mellett. Miután megjelentek az LLTV (Low Light Television) és FLIR rendszerek (Forward Looking Infrared) ez gyökeresen megváltozott. A kettő közül az infravörös sugarakat észlelő FLIR volt az, amely hatékonyabbnak bizonyult, hisz napjainkban is monopóliumot élvez. Az egyik legjobb példa az akkoriban újak

számító LANTRIN konténer, melyet az F-16 vadászgéphez, valamint A-10 csatarepülőgéphez fejlesztettek ki. A függesztményen belül egy FLIR és egy földfelszín letapogató radar (Terrain Mapping Radar) található. A FLIR és LLTV képeket eleinte csak a műszerfalba épített CRT kijelzőkön lehetett követni, de újra belátták, hogy rontja a pilóta helyzetérzékelését, ha nem a körülötte lévő környezetre koncentrálnak, így a legtöbb HUD gyártó cég megoldotta hogy kijelzőiken egyszerre rászter – FLIR által közvetített TV-szerű kép – és a hagyományos vonalas alakzatok legyenek megjeleníthetőek. A HUD képét előállító CRT-t ki kellett egészíteni a FLIR képeket feldolgozó és közvetítő blokkal. A HUD-on megjelenő termovizuális kép a CRT biztosította monokróm zöld szín árnyalataiból tevődött össze. A hőmérsékleti tartományok színei napszakonként változtak, mégpedig: nappal a meleg objektumok sötétek, a hidegek világosak, éjszaka fordítva. Ez a kialakítás műhorizont dublorként is szolgált, hiszen nappal az eget világosnak, éjszaka sötétnek látta a pilóta, a valóságnak megfelelően. [12][13]



6. ábra. A-10 HUD kikapcsolt állapotban

(forrás: <http://www.jetairblog.com/2011/05/80/a-10-thunderbolt-ii-profile>)

Sajnos probléma maradt a FLIR egységek biztosította kis látószög ezért a fordulók végrehajtása veszélyessé is válhatott, hiszen a hajózó nem láthatta, hogy hová tart a repülőgépe. Az egyik megoldás a HUD és a FLIR által belátható tér növelése lett volna, de a 70-es évek végén ezek a technológiák még kísérleti fázisban léteztek csak. Egy másik lehetőség, az éjjellátó (NVG – Night Vision Goggles) alkalmazása volt. Ha az alkalmazó légierő ezt a megoldást választotta, akkor a homloküveg indikátort úgy kellett konfigurálnia, hogy a fényereje és színe ne okozza az NVG biztosította kép romlását. [13]

## A HUD BIZTOSÍTOTTA LÁTSZÖG NÖVELÉSE

A head-up displayek esetében a rajtuk keresztül látható terület nagyságát vízszintes és függőleges irányban egy szögréteggel adják meg. Ezt az értéket a reflexüveg méretei, a hajózó szemétől való távolsága valamint, a kollimátor lencse átmérője a reflexüvegtől való távolsága határozza meg. Ezek olyan tényezők, amiket a pilótafülke méreteiből fakadóan nem lehetett következmények nélkül növelni. Figyelembe kellett venni a tömeg korlátozásokat, valamint

hogy a HUD egység nem nyúlhatott a biztonságos katapultáláshoz szükséges területen (ejection line) belülre.

Az 1970-es évek közepéig gyártott HUD-ok átlagosan  $20^\circ \times 15^\circ$  (függőleges  $\times$  vízszintes) látószöveget nyújtottak. Ez nem is jelentett addig problémát, amíg szükségessé nem vált a FLIR vagy LLTV képeinek 1:1 méretarányú megjelenítése. A gyártók az előző bekezdésben említett problémák valamelyikének kiküszöbölésével próbálták növelni a FOV-t (Field of View vagy Field of Vision). Egy ekkor már ismert technológia a holográfia segítségével a kutatók megoldották azt, hogy a kollimátor lencse elhanyagolható legyen és a képek végtelenbe történő fókuszálása magán a reflexüvegen történjen. A kulcs a diffrakciós rács felhasználása, melyet holografikus eljárással hoztak létre egy vékony átlátszó filmrétegre. Ez biztosította a megfelelő fókuszálást. Sőt a diffrakciós rács szűrőként is funkcionált, így csak a CRT foszforernyőjéről származó fény hullámhosszát és annak közeli tartományát verte vissza. Ezzel megszűnt a napfény okozta tükröződés és a hagyományos üveghez képest a hasznos fény 30%-a helyett 90%-ot juttatott a hajózó szemébe.

Az ilyen kialakítású kijelzőket holografikus, vagy diffrakciós HUD-oknak nevezték el. A DHUD használatával a vízszintes látószög  $15^\circ$ -ról  $30^\circ$ -ra nőtt. A függőleges látószög megnövelését csak 2-3 reflexüveg, eltérő szögben egymás mögé helyezésével lehetett elérni, ilyen megoldást találunk például az F/A-18-on is. [14]

Az első holoHUD-ot a Hughes Aircraft építette be egy svéd J-37 Viggenbe, mellyel 1979-től 1982-ig körülbelül 150 tesztrepülést hajtottak végre. A technika előnyeinek nyilvánvalóvá válásával, egyre több új típusba tervezték beépíteni. A régebbi repülőgépeken modernizálások során igyekeztek a hagyományos HUD-okat lecserélni. Az eleinte magas előállítási költség miatt, az avionikai rendszerekkel foglalkozó gyártók nem álltak el a hagyományos optikával rendelkező HUD-ok gyártásától sem. Termékeiket úgy tervezték, hogyha a vásárló később mégis igényt tartana a holografikus változatra, ne kelljen teljes cserét végrehajtani, néhány blokk beépítésével megoldható legyen a váltás.

Az 1985-ös adatok alapján a következő gépeken került vagy tervezték a holoHUD-ok alkalmazását: [14][15]

- GEC Avionics(UK): F-16, A-10;
- Kaiser Electronics(USA): F-15E;
- Hughes Aircraft(USA): JAS-39 Gripen, F/A-18;
- Ferranti(UK): RAF Tornado;
- Smith Industries(UK): Jaguar, Eurofighter Typhoon;
- Thomson CSF(FR) (Thales): Dassault Rafale.

Az 1980-as évek közepén, mint az előbbi felsorolásból is látszik, folyt a napjainkban is korszerűnek számító gépek kifejlesztése, vagy korszerűsítése. A diffrakciós típusú HUD-ok használata, szinte kivétel nélküli csak a katonai repülésben. Előrelépést a korszerűsödő számítástechnika jelentett, például: egyre gyorsabb számítógépek, CRT helyett LCD, később AMLCD képalkotás. Az üzemmódok, és a hozzájuk tartozó szimbólumok is csak az új lehetőségek megjelenésével változott, jó példa erre az egyes gépek által észlelt célok helyzetének kivetítése a vele szövetséges repülőgép HUD-jára.

---

## A HEAD UP DISPLAYEK A CIVIL REPÜLÉSBEN

---

Miközben a legtöbb ország légierejének pilótái már több mint egy évtizede, napi szinten találkoztak a HUD-okkal, addig a civil alkalmazás még váratott magára. Egészen 1972-ig, míg Gilbert Kopfstein francia mérnök, berepülő pilóta megalkotta a CV-91 típusú homloküveg indikátort. A saját tapasztalatait felhasználva a tervezés során, olyanra készítette, hogy jó látási viszonyok közt végrehajtott leszállások során asszisztáljon a pilótáknak. Ekkor a kijelzőt még nem elsődleges támpontnak használták a leszállások során. [16]

Forradalmi számító megoldása a pályavektor szimbólum, egy mozgó köralaként jelent meg a kijelzőn, jó megközelítéssel megadva a távolban azt a pontot, ahová a repülőgép tömegközéppontja várhatóan érkezik. Az alkalmazó pilóták szerint ez a megoldás jelentős segítséget nyújtott a leszállás során, annak ellenére, hogy pontatlan volt, mivel az oldalszelet még nem szemléltette.

Kopfstein következő HUD-ja a TC-121, újabb fontos újítást jelentett a repülésben. A kijelzőn megjelent a célreptér kifutópályájának körvonala, egy trapéz alakzat formájában. A repülőgép beérkezése közben, mikor az már érzékelte a reptér ILS jeleit, a HUD jelgenerátor blokkja feldolgozta és megjelenítette a tükör-üvegen a kifutópálya keretét. Kiegészítő tájékozási pontként, a körvonalakat középen átszelő vonal segítségével szemléltették a felszállópálya középvonalát. A parallaxis hiba kiküszöbölése következtében nagy távolságokból is jó referenciát kaptak a pilóták a kifutó helyzetéről, hisz a trapéz alakzat a leszállás végéig olyan érzetet keltett mintha a kifutópálya szegélye teljesen ki lenne világítva. Mivel az ILS vevőről érkező jelek feldolgozásra kerültek így a head-up displayek helyettesíthették az elektromechanikus ILS kijelzőket is. [16]

Elsőkét a francia Air Intel légitársaság alkalmazta 1974 járatain a szintén francia Thomson CSF homloküveg indikátorát, Dassaul Mercure típusú gépeiken. Csak másodlagos leszállási támpontként szolgált, az automata leszállító rendszer ellenőrzésére, bár ennek meghibásodása esetén engedélyezett volt a kézi leszállás a HUD segítségével. [16]

Az egyik legnagyobb gazdasági és repülésbiztonsági problémát a rossz időjárási viszonyok jelentették a civil légitözlekedésben. A repterek, vagy nem fogadhattak, vagy nem indíthattak járatokat, a repülőgépek várakozó légtérbe kényszerülhettek, de egy távolabbi reptérre is küldhették őket, és a már megkezdett leszállások sem maradtak mindig eseménymentesek. Bár az ILS rendszer segítségével alacsonyabb időjárási minimumok mellett is megkezdődhetett a beérkezés. Az ilyen jellegű rendszerek repülőterenként és gépenként is eltérő időjárási minimumokhoz voltak használhatóak.



	Minimum döntéshozatali magasság (decision height, DH)	Minimum kifutópálya látótávolság (runway visual range, RVR)
Category I (CAT I)	61 méter	800 vagy 550 méter
Category II (CAT II)	61 – 30 méter	300 vagy 350 méter
Category III A (CAT IIIa)	30 méter	200 méter
Category III B (CAT IIIb)	15 méter	50 vagy 75 méter
Category III C (CAT IIIc) (gyakorlatban még nem megvalósítható)	0 méter	0 méter

1. táblázat ILS leszálláskor használt időjárési minimumok

Hiába rendelkezett egy légitársaság CAT III leszálláshoz szükséges rendszerekkel, ha a célreptér adói csak a CAT I leszállásokat támogatták. Mivel a törölt leszállások és más repterekre történő átirányítások, évente jelentős összeget jelentettek a légitársaságoknak, szükség volt a minimumok csökkentésére.

A forgalmasabb repterek és nagyobb légitársaságok megengedhették maguknak, a jobb megbízhatóságú leszállító rendszereket, de a regionális légitársaságokban ez nem mindig volt kivitelezhető. Ekkor jöhetett szóba a HUD-ok alkalmazása.

A nyolcvanas évek közepén az Alaskan Airlines az egyik legjobb példa, mivel gyakorta volt szükség a CAT III minimumok közti leszállásra az általuk használt reptereken. A Flight Dynamics kijelzőjének tesztelése a Boeing 727-ben 1985-ben kezdődött. A Szövetségi Légügyi Hatóság 1989-ben engedélyezte az Alaska Airlines 20 db 727-én a HUD-dal való CAT III leszállásokat. Az elsőt még ebben az évben sikeresen végrehajtották. Az új képesség kihasználásával a légitársaság 1 év alatt 1 millió dollárt takarított meg amellelt, hogy körülbelül tízezer dollárt fordított az új HUD-ok üzemeltetésére. A rendszer jó mutatói miatt az USA-ban több regionális társaság alkalmazni kezdte a kijelzőt: Canada Air, Fed Ex. [16]

Szélesebb körben mégsem terjedtek el a HUD ok, ezért a gyártók, a képességek maximalizálására törekedtek. A kilencvenes évek elején szenzorfüzióval igyekeztek kiterjeszteni a homloküveg indikátorok felhasználhatóságát. Az Enchanted Flight Vision System (magnövelt észlelést biztosító rendszer) a FLIR kamera képével és terepkövető radar segítségével alkotta képeket vetített ki a HUD-ra. A Synthetic Vision System (mesterséges látvány alkotó rendszer), a GPS és domborzat adatbázis felhasználásával kreálta meg a környezet képét, melyet eleinte csak a műszerfalba szerelt kijelzőkön jelenítettek meg. A két rendszer évekig tartó rivalizálásának eredményeként a repülőgépeken vegyes alkalmazásként jelentek meg, így hátrányaik kiküszöbölhetőek voltak. A FLIR nem volt érzékeny a hőmérséklet anomáliákra, de valós idejű képet biztosított, az SVS pedig megbízható domborzati információkkal, magas építmények, veszélyes tereptárgyak, repterek helyzetével látta el a pilótákat. Emellett a kép a homloküveg indikátoron és a műszerfalba épített optikai kijelzőkön egyaránt megjeleníthető volt, így téve redundánssá a rendszert. [17][18]

A 90-es évek vége felé nagy lendületet adott a HUD fejlesztésének az egyre szélesebb körű alkalmazás a civil Bussines Jeteken (Gulfstream, Bombardier, Cessna). Az új, helyzetérzékelést javító megoldások még inkább segítették a pilóták munkáját. Megjelent a TCAS (Traffic



Collision Avoidance System – veszélyes megközelítést jelző rendszer), amelynek jelzése a HUD-on a veszélyt jelentő légtér bekeretezésével történik. A föld közelében veszélyes magasság esetén felirat és a javasolt magasság, sebesség és bólintási szögváltoztatás indexek jelzik a repülőgép vezető számára. [17][18]

A leszállások előtt a környező terület képe hasznos támpontokat szolgáltat, ezért a kijelző segítségével a domborzati adatbázis alapján könnyebb a tájékozódás (lásd 7. ábra – jól láthatóak a domborzati adatbázis által megjelenített magas építmények). A pilóta sebesség, magasság dőlés és bólintás korlátokat állíthat be, ha ezeket túllépi a repülőgép, a HUD-on kijelzésre kerül. [19]



7. ábra Rockwell Collins HGS-6000 HUD.

(forrás: GEORGE, Fred, Bussines and Commercial Aviation, 2011 november 52-54 o.)

Egyre több adat megjelenítésével a kijelzők akár zavaróakká, és félreérthetőkké válhattak a pilóta számára, ez főleg a leszállás előtti pillanatokra tartogatható veszélyt. Ezért jelent meg a kijelző túlszűfoltóságát megszüntető gomb. Leszállás pillanatban a gomb lenyomásával, csak azok az információk maradtak a HUD-on, melyek ténylegesen elengedhetetlenek az adott repülési fázis teljesítéséhez. Hogy melyek legyenek ezek az adatok, a személyzet maga táplálhatta be a rendszerbe.

Típusok melyeken alap vagy választható felszereltség a HUD:

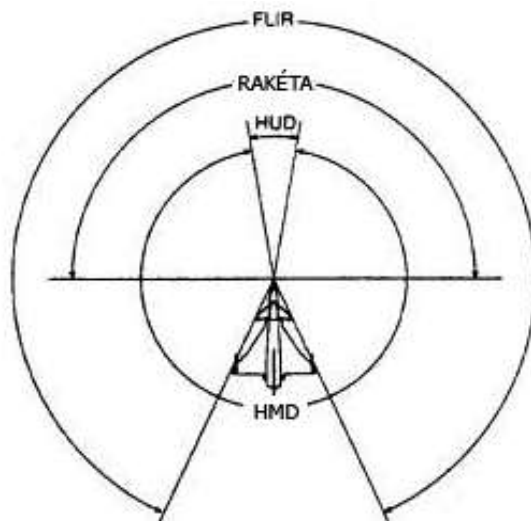
- Gulfstream 450, 500, IV, V;
- Embraer Legacy 450, 500;
- Bombardier 5000, 6000;
- Boeing MD-10, MD-11, 727, 737, 747;
- Airbus A300, A310, A330, A340, A380.

## A JÖVŐ

Napjainkban körülbelül 2000 HUD-ot alkalmaznak a kereskedelmi és 15 000-et a katonai repülésben. A katonai felhasználása azért ennyivel gyakoribb, mert a fegyverrendszerek elengedhetetlen részét képezi, mint a célzó-navigációs komplexum része. A civil repülésben sok esetben csak kiegészítő alkalmazásként szerepel, de a szakértők szerint a jövőben egyre job-

ban elterjed majd, a következő évtized végére várhatóan 5000 kereskedelmi- és magánrepülőgépen alkalmazzák majd.

A gyakorlat viszont azt mutatja, hogy a katonai repülésben lassan elérkezik a technika felváltása. A jelenleg legfejlettebbeknek számító 5. generációs többfeladatú harcászati repülő, az F-35 másnéven Joint Strike Fighter pilótafülkéjét 2 multifunkciós LCD kijelző uralja, head-up display nem került beszerelésre. A magyarázat egyszerű, feladatát teljes mértékben átvette a sisakra függesztett kijelző. A HUD egyik legnagyobb hátrányát küszöböli ki, azaz annak korlátozott látószögét. A következő ábra szemlélteti legjobban az egyes eszközök által belátható teret. [20]



8. ábra. Belátható tér

(forrás: COLLINSON, R.P.G. , Introduction to avionics systems, Springer; 2011, 47 o)

A JSF-en kívül évek óta alkalmazzák a HUD mellett kiegészítő alkalmazásként más vadászgépeken. Bár a közelmúltban már lehet, hogy inkább a HUD töltött be kiegészítő szerepet a HMD mellett. Ilyen repülőgépek: JAS-39 Gripen, F-16, F-18, F-22, Dassault Rafale, Eurofighter Typhoon. A célzó-navigációs komplexum részeként, több mint egy évtizede alkalmazzák a head mounted displayeket a harci helikoptereken is, például: AH-64.

Ahogy a HUD-ot hátrányai miatt felváltja a HMD, úgy hatékonyabb megoldások idővel leválthatják azt is. Már napjainkban is létezik, igaz csak technikai demonstráció szinten a retina kijelző (virtual retina display), mely egy felhelyezett kontaktlencse segítségével már 2 számjegyet képes a használó retinájára vetíteni.

A head-up displayek a repülésen kívül szinte a legtöbb közlekedési eszközön és más katonai alkalmazásokban is feltűnhetnek. 1988-ban a Corvette C 5 gépjárműveket már felszerelték HUD-dal, azonban az alkalmazás megmarad kuriózum szinten. Ennek oka talán az volt, hogy a gépjármű sofőrjének nem szükséges olyan mértékű koncentráció, mint egy A380-as pilótájának leszállás közben, emellett magas költsége sem indokolta elterjedését.

A cikk megírásával a szerzöknek az volt a céljuk, hogy a head-up displayek fejlődésének nem oly részletes történetét megismertessük, ezen keresztül az olvasó betekintést nyerhessen felhasználásuk, működésük alapelveibe. A cikk olvasása után beláthatjuk, hogy a homloküveg indikátorok hozzájárultak és hozzájárulnak a baleseti statisztikák és a hajózók helyzetérzékelésének javulásához, épp úgy, mint a fegyverek találati pontosságának nagymértékű növekedéséhez. A modern repülés egyik elengedhetetlen információforrásként, valószínűnek tartom, hogy a pilóták szeme a repült idő nagy részében a head-up displayekre szegeződik.

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] MOORE – SEARSON, L. D. , Gunsight Evolution, Flight International, 1976 február, 494 – 495 o.
- [2] JARRET, D. N., Cockpit Avionics, Ashgate Publishing Limited, England, 1988.
- [3] Gyro gunsight, Wikipedia the free encyclopedia, e – dok. url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Gyro\\_gunsight](http://en.wikipedia.org/wiki/Gyro_gunsight) (2011. 11. 04)
- [4] Head – up display, Wikipedia the free encyclopedia, e – dok. url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Head-up\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display) (2011. 09. 29.)
- [5] <http://www.rochesteravionicarchives.co.uk> (2011. 10. 11.)
- [6] Raster HUD for A – 7E, Flight International, 1977 március, 783 o.
- [7] PARKER, W. J., MRCA head – up display, Flight International, 1973 szeptember, 506 o.
- [8] Systems and Components, Flight International, 1974 szeptember, 303 o.
- [9] <http://www.ausairpower.net/TE-Fighter-Cockpits.html> (2011. 11.05.)
- [10] MOORE – SEARSON, L. D. , Snap - shoot, Flight International, 1974 február, 745 - 746 o
- [11] MIL – STD – 1787B, USA Department of Defence, 1996
- [12] Raster head – up displays, Flight International, 1975 október, 665 - 666 o.
- [13] Flying with Flir, Flight International, 1985 december, 26 - 28 o.
- [14] WARWICK, Graham, Head up holograms show the way, Flight International, 1986 march, 26 - 29 o.
- [15] Viggen tests Gripen avioncs, Flight International, 1983 január, 64 o.
- [16] Taking a look ahead, Flight International, 1991 május, 32 - 34 o.
- [17] WARWICK, Graham, No need to see, Flight International, 1992 június, 40 - 42 o.
- [18] Virtual Landings, Flight International, 1993 augusztus, 40 - 42 o.
- [19] GEORGE, Fred, Bussines and Commercial Aviation ,2011 november 52-54 o.
- [20] COLLINSON, R.P.G. , Introduction to avionics systems, Springer; 2011, 47 o.



Verdes István<sup>1</sup>

## AMI NEM VOLT NYÍLVÁNOS CSERNOBILRÓL<sup>2</sup>

*A gorbacsovi "glasznosztj és a peresztrojka" lehetővé tette, hogy a likvidátorok közvetlen valóságos tapasztalatait feldolgozzuk a hadműveleti tanfolyam speciális kurzusán. A következmények felmérésében és kezelésében a Tyimosenko Katonai Akadémia (a vegyvédelmi csapatok legmagasabb szintű tanintézete) tanárainak és hallgatóinak meghatározó szerepe volt. A cikkemben azokat a személyes élményeimet írtam le, amelyeket az oktatásban felhasználtam, de eddig még sehol nem publikáltam.*

### **THAT WAS NOT PUBLIC FROM CHERNOBYL**

*Gorbachev's "glasnost and perestroika" allowed us to direct the Liquidator's to process the actual experiences of special operations training course. The consequences for the assessment and treatment Timoshenko Military Academy (the highest level of chemical defence troops training institute) teachers and students had a determining role. In the article I wrote down my personal experience, which I used in education, but so far not published anywhere.*

A Szovjetunió Tyimosenko Katonai Akadémiáján 1988-ban vettem részt hadműveleti tanfolyamon, ahol a Magyar Néphadsereg Vegyvédelmi Főnökétől (Sztanó Géza mk. vörge) azt a feladatot kaptam, hogy a lehetőségekkel maximálisan élve tanulmányozzam a Csernobilban történeteket. A csoport parancsnoka átadva az erre vonatkozó kérést, megteremtette annak lehetőségét, hogy a hozzáférhető és engedélyezett dokumentumokat eredetiben tanulmányozzam és kijegyzeteljem. Mindazok, akik a korabeli viszonyokat ismerték, megdöbbenve vették tudomásul ezt a lehetőséget.

A megbízólevél hatására hozzáférhetővé váltak számomra a szóbeli beszámolók kivonatai, az azokról készült feljegyzések és az írásban készült jelentések. Lehetővé vált, hogy a tanáraink közül azokkal beszélgessek, és személyes tapasztalataikról érdeklődjek, akik a következmények felmérésének és felszámolásának tevékeny résztvevői voltak.

A csernobili reaktorbaleset mindmáig a legnagyobb kárt és pusztítást okozó eseménye a nukleáris iparnak. A reaktorbaleset 250 lakott települést érintett közvetlenül és mintegy 124 000 főt kellett evakuálni. A kitelepítés során 140 000 állat, 91 000 nagy állat, valamint további 20 000 sertés és hasonló állat elszállításáról kellett gondoskodni.

Fontos szempont volt a geológiai és hidrometeorológiai helyzet értékelése. A Pripjaty folyó mellett, mocsaras területen helyezkedik el az objektum. Északnyugati a szél iránya, 10-15 cm vastag a művelhető talajvastagság, a talajvíz szint -10 cm-en van, a népsűrűség egyenetlen. Pripjaty városnak kb. 50 000 lakosa volt, Csernobilból kb. 12 000 főt kellett kitelepíteni.

Ebben a körzetben a hadseregnek is diszlokáltak egységei, melyeknek később fontos szerepe volt egyrészt az első beavatkozásban, másrészt a likvidátorok későbbi elhelyezésében. A terü-

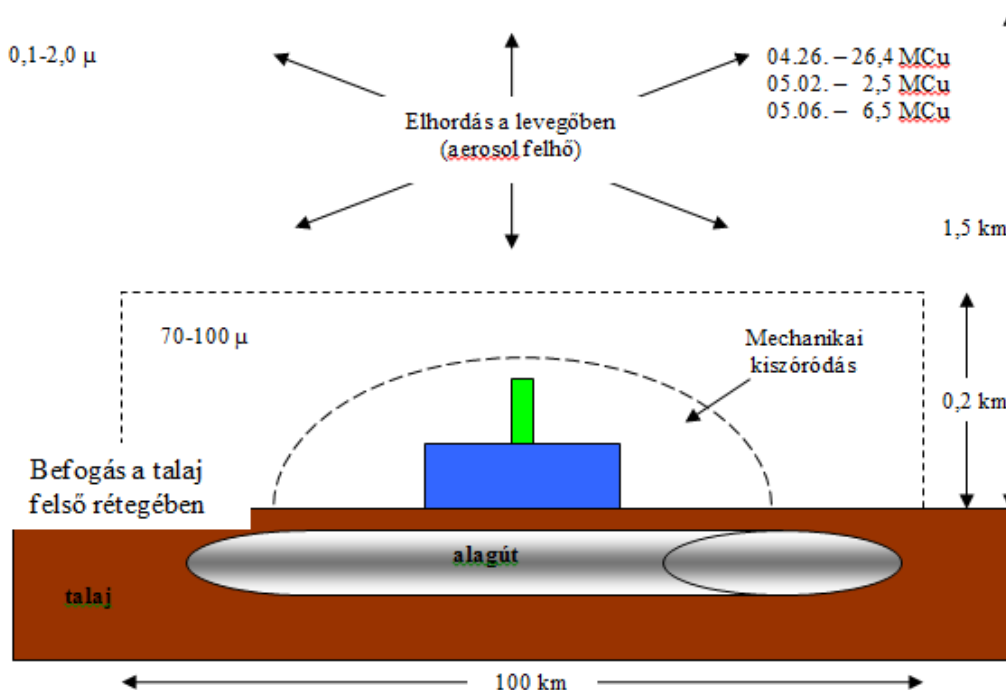
<sup>1</sup> ny. alez., verdesistvan@t-online.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Szilvássy László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyeteme Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, szilvassy.laszlo@uni-nke.hu

let úthálózata nagyon rossz volt. A helyzet értékelésekor figyelembe kellett venni, hogy a homokos talaj segíti a sugárszennyezettség kialakulását. Az épületek zöme a városokban középmagasak, a többi épület pedig zömmel faház és ún. vertfalu épület, tetőszerkezetük lapos tető, illetve festett bádog, cserép illetve fa (deszka). Ezeknek az információknak nagy jelentősége volt a sugármentesítési feladatok megszervezésében.

1986. április 26-án 00:41:26-kor történt a riasztás. Az első beavatkozást 70 tűzoltó hajtotta végre, a teljes állomány 120 fő volt. A reaktorbaleset következtében a helyszín megközelítése szinte lehetetlen feladat elé állította a tűzoltókat, a befecskendezett víz nem segítette, sőt károsan befolyásolta a reaktorban lezajló folyamatokat, túlhevülésével hő bomlás, majd robbanások alakultak ki további grafit és fűtőelem kivetődést, valamint nagymennyiségű sugárzó aerosolt kilövellve.

A legmeglepőbb információ, amelyre korrekt szakmai magyarázatot nem sikerült találni az volt, hogy a tűzoltóparancsnok az adott esetén, születésnapj bulin tartózkodott és jelentős mennyiségű alkoholfogyasztás után érte a riasztás. Mindvégig részt vett az első beavatkozásban és elvileg halálos sugárdózist szenvedett el, de ellentétben a rövidesen elhalálozó 41 fő tűzoltóval ő súlyos és azonnali következmények (sugárbetegség tünetei) nélkül, „élménybeszámolókat tartva” járta a világot. Közkezdvelt mondássá vált belső körökben, hogy a vodka a legjobb sugárvédő anyag.



1. ábra A kezdetek Csernobilban

A hermetikus blokk súlyosan megrongálódott, a fűtőelemkapszulák és járataik deformálódtak, mind a fűtőelemek, mind a fékező rudak mozgatása lehetetlenné vált, a reaktor szabályozhatatlan állapotba került. Az első napon nem tudták meghatározni a szennyezés fokát, a vezetés leértékelte annak jelentőségét. Jellemző, hogy a kísérletet vezető mérnök még – hónapok múlva sem – hitte el, hogy a reaktorbalesetet a rosszul végrehajtott reaktorműveletekkel ők idézték elő.

A mechanikus kiszóródás 70-100 millimikron<sup>3</sup> nagyságú részecskék tekintetében kb. 100 km távolságban történt, a 0,1-2,0 millimikron nagyságú részecskék elhordódtak az aerosolfelhőkkel, amelyet Európa különböző helyein mértek, és ezek segítettek azonosítani a kibocsájtót. Az aerosol felhőben a grafitral szén, jód, plutónium, cérium és cézium radioaktív részecskék távoztak az erőműből. Az összes aktivitás 1,5-3%-a került ki a reaktorból.

Az ilyen mértékű környezeti katasztrófa bebizonyította, hogy a világ minden részéből maximális segítségnyújtásra számíthattak, USA, angol, német, japán tudósok álltak rendelkezésre és ezek az országok, nemzetek azonnal robotokkal, műszerekkel speciális védőfelszerelésekkel és technológiákkal álltak rendelkezésre.

A következmények felmérésének időszakában a végrehajtók számára bebizonyosodott, hogy a baráti (szocialista) országok műszerei jól vizsgáztak, semmivel sem nyújtottak kevesebb szolgáltatást az adott helyzetben, mint a fejlett országok műszerei.

A szarkofág megépítéséig szükség volt a speciális védőfelszerelésekre, amit nagy mennyiségben kellett használni, és még ez sem csökkentette kellő mértékben a káros behatásokat, a veszteségeket.

Kiemelt veszélyforrásként értékelte az irányító törzs a zónaolvadás veszélyét, ezért a reaktor alá alagutat építettek ki, annak hűtésére. Az alagút egy 30x30x2m-es tárolóba vezetett, ahonnan lehetőség nyílt a reaktortartály alsó részének állandó hűtésére.

Ebben az időben Déli szél volt, majd 28-án Nyugatnak, 29-én Délnek fordult. A felemelkedés magassága 1,5 km volt a kivetődés után és aerosolfelhő alakult ki. 30 km sugarú körben volt mérhető nagy aktivitás.

A robbanás következtében a tetőszerkezet nagymértékben megrongálódott, amelyről a nagyaktivitású részecskéket robotokkal kívánták eltávolítani, de a robotok felmondták a szolgálatot, így kénytelenek voltak azt a likvidátorokkal – kézi erővel – eltávolítani.



2. ábra A reaktor a baleset után<sup>4</sup>

<sup>3</sup> a mikron ezredrésze

<sup>4</sup> <http://schema-root.org/technology/nuclear/power/accidents/chernobyl/>

Három robottal kezdték meg a munkálatokat (ezek közül egy Japán volt), azonban az alkalmazásukhoz fűzött remények szertefoszlottak.

A reaktor közelében feladatukat végzők bőrükön érezték a magas sugárszintet és mintha statikusan erősen feltöltődött volna a ruházatuk, olyan érzést tapasztaltak magukon mindannak ellenére, hogy a nemzetközi segítség alapján komoly védőeszköz készlettel voltak felszerelve. A parancsnok jelentése szerint a tetőn kb. 10-12000 R/ó volt a sugárszint, ezért az ott tevékenykedők csak egyszeri bevetésre és csak néhány másodpercre kapták feladataikat, amelyeket légi felvételek alapján előre begyakoroltak.

A folyamatok csillapítására 80 helikopterrel kezdték meg a sérült reaktor „bombázását” homokkal és bórsavval, melynek következtében radioaktív savas eső alakult ki, ami nagymértékű környezetszennyezéshez vezetett. Végül 6000 tonna bórsav és homok felhasználásával fojtják el a tüzet, a reaktorban 190 tonna hasadóanyag maradt.



3. ábra Mentés helikopterről<sup>5</sup>

Május 04-e után mintegy 2400 tonna ólommal kezdték meg a reaktorban lévő folyamatok lefojtását, amelynek egy része a magas hőmérséklet miatt elpárolgott, ami további környezetkárosítást eredményezett.

A kitelepítések után megkezdődhetett reaktorban lévő folyamatok uralására irányuló tevékenységek sora, a keletkezett helyzet felszámolására irányuló erőfeszítés.

Az első feladatok egyike, hogy a kivetődött nagyaktivitású törmelékek, részecskék felkutatása, begyűjtése. Ennek keretében sikeresen vizsgázott az egyik magyar felderítő műszerünk az IH-5 egységes sugárzásmérő műszer. A detektorát egy ólomcsőbe helyezve, a műszerrel sikeresen derítették fel az erősen sugárzó törmelékeket, amelyeket be kellett gyűjteni.

A talaj sugármentesítésére ún. „burbát” (agyagos oldatot) szórtak ki a talajra különböző repülőgépekről, majd annak kiszáradása után azt a felső talajréteggel együtt begyűjtötték.

<sup>5</sup> <http://totallycoolpix.com/2011/04/chernobyl-25-years-later-then-and-now/>

A sugárzó aerosolok megkötésére alkoholos cukros oldatokat permeteztek ki, amelyek a talajra történő kihullás után a „burbával” együtt kerültek begyűjtésre.

Az épületek mentesítését, az abból keletkező szennyezett oldatok egy külön erre a célra kialakított tárolóba gyűjtését is meg kellett szervezni.

Minden erővel és eszközzel meg kellett akadályozni, hogy a sugárhatásnak kitett állatokat begyűjtsék, kilőjék, megsemmisítsék, ezáltal a genetikai torzulásokat maximális mértékben megelőzzék. Ennek a folyamatnak egy meglepő tapasztalata az volt, hogy a Pripjaty folyóban horgászó likvidátorok (hal mintavétel céljából) megcsúszva az iszapos parton a folyóba estek, ruhájuk erősen iszapos lett. Az iszapos ruha mosása kapcsán arra a felfedezésre jutottak, hogy az „iszapkezelés” a ruházatból szinte tökéletesen kivette a szennyező anyagokat, ez a későbbiekben nagy hasznot hozott a szervezetet terhelő sugáradagok csökkentése területén.

A növényzet sem élte túl a sugárzás káros hatását, mindenki számára a TV közvetítésekben látható (vörös erdő), a torz levelek, a torzszülött erdei állatok, mind a Kijevi Sugárbiológiai Intézetben készült filmekben is láthatók voltak.

A sugárzó anyagok reaktorból történő kijutásának megakadályozására az egész épületet be kellett „csomagolni”, ezért Szergej Leccatov mérnök megtervezte a szarkofágot, amelyet Lev Bochanov mérnök kivitelezett. A szarkofág építésében nagy szerephez jutottak az erre a célra kikülönített speciális helikopterek, amelyeknek a segítségével sikerült a helyükre beemelni a 150 tonnás, 70 méter magas elemeket. A szarkofág tetején lévő szellőző kéményben egy szűrőrendszer van elhelyezve, ami a sugárzó anyagoknak a szarkofágból történő kijutását hivatott megakadályozni.

1986 szeptemberében jutott el a következményeket felszámoló erőfeszítése, arra az eredményre, hogy a reaktorból a veszélyes sugárzó anyagok akadálytalanul nem kerülhettek a környezetbe. Az ezt követő időszakban már fokozatosan lehetővé vált az ott tevékenykedő állománynak, hogy a nehéz és megterhelő védőeszközökön könnyítsenek, később a gázálcokat felválthatták az egyszer használatos, könnyebb viseletű ún. PRH szájmaszkok használatára.

A több mint negyedszázada álló szarkofág szerkezete ma még képes a belül végbemenő folyamatokat ellenőrizhető állapotban tartani, de napjainkban egyre inkább előtérbe került egy új – a régit beborító – szarkofág építése.

Pripjaty és Csernobil még ma is kísértetvárosok, a reaktor körzete még ma is és még sokáig zárt, speciális rendszabályokkal terhelt zóna, ahol megtekinthetők a radioaktívvá vált és speciális tároló helyen álló, az első beavatkozásban résztvevő technikai eszközök, a repülőeszközökkel együtt.





4. ábra Pripjátý<sup>6</sup>

A reaktorbaleset következtében egy több évtizedes kísérleti terület keletkezett, amely az emberi felelőtlenség mementója és minden felelősen gondolkodó embernek kötelessége szem előtt tartani, hogy a biztonság nem függhet egyéni értelmezésen, hogy a reaktor nemcsak áldásos, de veszélyes is! Veszélyes és nemcsak a felelőtlenekre, hanem azokra a százezrekre, milliókra is, akik pedig nem adnak felhatalmazást a biztonság egyéni megítélésére.

### **Néhány fontos megállapítás**

A világ energiaszükségletei még sokáig nem lesznek kielégíthetőek az energiatermelő atomreaktorok működtetése nélkül, még sok-sok évtizedes jövője van az atomreaktorok által termelt energiáknak. Nem mellékes az a körülmény, hogy a sugárzó anyagok kivételével mind a gázüzemű, mind a széntüzelésű erőműveknél környezetbarátabb energiatermelő objektumok. A szél, a nap és a vízerőműveket az atomreaktorok követik a legkevesebb káros anyag kibocsátásban, viszont az általa előállított energia mennyisége a többi erőművet messze felülmúlja.

A Japán fukusimai erőmű 2011 évi reaktorbalesete ráirányította a figyelmet arra a nem mellékes körülményre, hogy természeti katasztrófától veszélyeztetett helyen atomreaktort nem lehet építeni és az eddig megismerhető információk szerint a veszélyhelyzet elkerülésére nem kellő időben és kellő tartalommal intézkedtek, a hűtővízellátás zavara vezetett a már ismert eredményre.

A környezeti katasztrófa veszélye példátlan nemzetközi összefogást eredményezett és megkérdőjelezhetetlen szellemi-, anyagi-, technikai- és pénzügyi segítséget adtak a „végleges megoldás” kiépítéséhez. Az idézőjel csak képletesen érthető, mert az adott időszakban az akkori Szovjetunió erejét meghaladó erőfeszítésre lett volna kényszerítve.

A reaktor biztonsági kapcsolói nem lehetnek kiiktathatóak, az emberi felelőtlenséget és hibát ki kell zárni a reaktor működéséből.

<sup>6</sup> <http://madmikesamerica.com/2011/03/chernobyl-could-japans-nuclear-accidents-happen-in-america/>



Az érintett terület lakosságának védelme érdekében pontos, egyértelmű és mindenki számára világos és végrehajtható riasztási tervet kell kidolgozni és az érintettekkel teljes mértékben ismertetni kell. A riasztást követően a lakosság az abban foglaltakat automatikusan legyen képes végrehajtani.

Napjainkban sok – főleg idős emberek – visszaköltöztek eredeti otthonukba nem törődve az elszennvedhető káros hatásokkal. A visszaköltözőket a területet ellenőrző szolgálat segíti egészségügyi kontrolljukat rendszeresen végzik.

A területen megfelelő befogadóképességű és hermetizáltságú óvóhelyeknek kell rendelkezésre állni, ahol a kijelölt (beavatkozó) állomány megfelelő védelme biztosított és pihentetésükre, étkeztetésükre alkalmas.

A Polgári Védelem erőinek felkészítése – a reaktorok körzetében – kiemelt fontosságú, ami a csernobili erőmű körzetében súlyos hiányosságokat mutatott, ezért a vegyvédelmi egységekre, alegységekre hárultak a fő terhek és feladatok.

A leghatározottabban kihangsúlyozták és sulykolták belénk, hogy aki ilyenkor keveset tud, az tehetetlen!

A Polgári Védelem kiemelt fontosságú feladata az érintett lakossággal begyakoroltatni, hogy veszély esetén a hatékony elzárkózás kiemelt fontosságú védelmi tevékenység, hogy törekedni kell a lehető legnagyobb mértékű – saját eszközökkel kivitelezhető – hermetizációra.

A védelmi terveket teljes mélységében ki kell dolgozni, azt minden vezető beosztású személynek teljes mértékben ismernie kell és képesnek kell lennie annak maradéktalan és pontos végrehajtására és végrehajttatására.

A Repüléstudományi Konferenciához híven a szakmához kötődően a repülő erőkre vonatkozó és a lényegre törő összegzésem az alábbiakban foglalható össze

A leghatékonyabban a légierő helikopter egységeit-, alegységeit alkalmazták, kiemelt fontosságú volt a helyzetfelmérésben a sugárfelderítésben, az aeroszolok haladási irányának kontrolálásában a légi sugármentesítésben, a kijelölt kormánybiztos tevékenysége feltételeinek biztosításában, a szakértők szemrevételezéseinek biztosításában, személyek, anyagok kiszállításában és elszállításában és végül, de nem utolsó sorban, hanem a leghatékonyabbak még ezeken is túl a reaktor elfojtásában, homok, bórsav, majd ólom pontos beszórása a reaktorba, a szarkofág elemeinek beemelése a helyükre.

Nagy szerep hárult és igen kedvező tapasztalatokról tettek bizonyosságot az un. mezőgazdasági repülő a „burba” szennyezett területre történő kipermetezése területén és részt vettek a vadállomány mozgásának kontrolálásában, kilövésük feltételeinek biztosításában, illetve a gyűjtő, megsemmisítő helyeikre terelésükben, alacsonyan repülve az állatokat megriasztva terelték a gyűjtőhelyekre.

A Szárazföldi erők (likvidátorok) parancsnoka szerint a feladatot mintegy 100 000 fő katona és mintegy 400 000 fő civil szakember hajtotta végre, a likvidátorokat követő rendszer adatai szerint napjainkra ezen személyek közül mintegy 20 000 fő halott és mintegy 200 000 fő munkaképtelen. Természetesen ez a szám napról-napra súlyosabb veszteséget mutat.



---

Talán a legsúlyosabb következménye mégis az, hogy a súlyos környezeti ártalom, a magas sugárszennyezés miatt a reaktor körzetében, nagy területen (Ukrajnában és Belorussziában) mintegy 300 000 gyermek született különböző károsodással, torzulással.

Az emberiség történelmének hajnalán megtanulta, hogy a tűz milyen veszélyes és súlyos sérülések okozására képes, de megtanulta annak használatát és megtanult a tűzzel együtt élni.

A nukleáris energia, az atomreaktor egy sokkal veszélyesebb dolog, mint a tűz. Az emberiségnek tehát meg kell tanulnia, hogy hogyan lehet azt a céljainknak megfelelően használni, anélkül, hogy a reaktorbalesetek további bekövetkezését kockáztatnánk és mind magunkat, mind a környezetünket veszélyeztetnénk.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] VERDES István Sz. K. Tyimosenko Katonai Akadémia Hadműveleti-harcászati Tanfolyam (Szovjetunió Vegyivédelmi Csapatának Katonai Akadémiája) saját jegyzetei 1988 év.

Árvai László<sup>1</sup>

## SZIMULÁCIÓS SZOFTVEREK ALKALMAZÁSA UAV FEJLESZTÉSBN<sup>2</sup>

*Pilóta nélküli repülőgépek (UAV) fedélzeti elektronikájának fejlesztésében nagy segítséget adhatnak a különböző szimulációs szoftverek. Segítségükkel, a fedélzeti hardver, szoftver rendszer könnyen és biztonságosan tesztelhető, az esetleges hibák könnyen felderíthetők. Ezen kívül tesztelhető a fedélzeti rendszer működése különböző környezeti (időjárás) viszonyok esetén vagy a repülőeszközt érintő változások (pl. meghibásodás) esetén. Az ilyen szimulációs feladatokra a MATLAB programcsomag felhasználása az általánosan elterjedt megoldás. Nem véletlenül, hiszen a MATLAB nagyon kényelmes és kifejezetten rugalmas felületet nyújt a szimulációk elkészítéséhez és nem utolsósorban nagyon sok, már elkészült szimulációs modul támogatja a felhasználót. Ennek ellenére érdemes megvizsgálni néhány más szoftvert is, mert bizonyos speciális esetekben előnyösebben, könnyebben vagy legalábbis olcsóbban használhatók.*

### **APPLICATION OF SIMULATION SOFTWARE IN UAV DEVELOPMENT**

*The development cycle of UAV onboard electronics might be reduced significantly using computer simulation. With the help of simulation the onboard hardware and software system can be tested easily and safely and the possible problems easily can be identified. The simulation also makes possible to test the behavior of the onboard system in the case of different environmental (weather) conditions or faulty conditions of the aircraft. The most widespread simulation tool for this purpose is the MATLAB software. The MATLAB is very comfortable and flexible simulation environment and a lot of prebuilt simulation module helps to create the necessary algorithm. But still worth to know about some other systems because in special cases they might have advantage.*

## Bevezetés

Napjaink nagy teljesítményű számítógépei és az egyre kifinomultabb szimulációs algoritmusok, szoftverek segítségével korábban elképzelhetetlen bonyolultságú és pontosságú szimulációk végezhetőek el, gyakorlatilag valós időben. Az ilyen szimulációs eszközök több ponton is támogathatják a pilóta nélküli repülőgépek fejlesztési, illetve az azokkal kapcsolatos oktatási munkát.

Bizonyos szimulációs szoftverek aerodinamikai alapokra épülnek, így a fejlesztés legelső – konfigurációs – fázisában is hasznos segítséget nyújtanak, egy még nem létező repülőgép repülési jellemzői kipróbálhatók, a konfigurációs módosítások ellenőrizhetők, a gép tulajdonképpen virtuálisan berepülhető.

A fejlesztés további fázisaiban is jelentősen tudják támogatni a megfelelően kiválasztott és felparaméterezett szimulációs programok a munkát. Használhatók a fedélzeti szoftver, hardver, illetve a földi állomás szoftverének együttes vagy külön-külön tesztelésére.

---

<sup>1</sup> laszlo.arvai@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

„Hardware In the Loop” (HIL) vagy „Software In the Loop” (SIL) elrendezésben pedig akár a fedélzeti szabályzó rendszerek hangolására, különböző kondíciók melletti viselkedésük (pl. szél, meghibásodás) elemzésére, navigációs és útvonaltervező algoritmusok tesztelésére és optimalizálására is használhatók.

Az oktatásban rendkívüli előnye a szimulációs környezet használatának, hogy a hallgatók szabadon kísérletezhetnek saját algoritmusokkal, beállításokkal a nélkül, hogy ezzel a saját vagy bármilyen eszköz épségét veszélyeztetnék. Az esetleges virtuális géptörések okai könnyen kideríthetők, hiszen a katasztrófához vezető út újra végigjárható, elemezhető a virtuális térben, hiszen folyamatosan rendelkezése állnak a virtuális telemetriás adatok.

Szimulációs szoftverekből számos változat elérhető, léteznek ingyenes vagy fizetős változatok, illetve sokrétűségük, felépítésük és működésük különbözősége miatt más módon és más célra használhatók. Ezért célszerű áttekinteni a néhány elterjedtebb program lehetőségeit, használatának feltételeit, illetve korlátait és általában egy szimulációs környezet felépítésének főbb lépéseit.

## A szimulációs környezet

A HIL, SIL illetve általánosságban az „In the Loop” szimulációs módszerek lényege, hogy a vizsgálni kívánt rendszert kiemeljük a működési környezetéből és áthelyezzük egy olyan elrendezésbe, ahol az eredeti környezetet számítógépes szimuláció helyettesíti. Attól függően, hogy az eredeti rendszerből csak a szoftvert vagy a szoftvert és a hardvert együttesen emeltük ki, beszélünk SIL vagy HIL szimulációról. A következő ábra (1. ábra) a két szimulációs elrendezést mutatja UAV repülésvezérlő elektronikájának szimulációs vizsgálata esetén.



1. ábra Szimulációs elrendezések

HIL szimuláció esetén a teljes fedélzeti számítógép a rajta futó szoftverrel együtt kerül bele a szimulációs környezetbe. Ezért szükséges valamilyen kommunikációs lehetőség kialakítása a szimulációt végző személyi számítógép (PC) és a fedélzeti elektronika között. A PC feladat ebben az elrendezésben a légitármű viselkedését leíró modell futtatása és a 3D-s megjelenítés megvalósítása. Ez utóbbi természetesen opcionális, de sokkal követhetőbbé és érhetővé teszi a lejátszódó folyamatokat.

SIL szimuláció esetén csak a szoftvert emeljük ki és a szoftver futtatását is egy személyi számítógép végzi. Bár az ábrán egy számítógép szerepel, természetesen nem szükséges, hogy a szimuláció és a fedélzeti szoftver ugyan azon a számítógépen fusson, számítási teljesítménnyel

kapcsolatos problémák esetén több különböző gép is felhasználható. A SIL szimuláció egyébként kevésbé népszerű a HIL szimulációhoz képest, mert amennyiben a fedélzeti számítógép szoftvere a tervezéstől kezdve nem annak figyelembevételével készült, hogy futhasson PC-n is, úgy jelentős munkát igényelhet a szoftver PC-re portolása. Amennyiben azonban lehetőség van SIL szimuláció kialakítására, úgy az, egy nagyon kényelmes és könnyen használható környezetet ad a teszteléshez, hiszen a PC-n használható fejlesztőrendszerek (debuggerek) általában sokkal szélesebb eszköztárral rendelkeznek, mint a beágyazott társaik.

Ha jobban szemügyre vesszük az ábrák bal oldalán a „Légijármű szimulációs modell” és a „3D megjelenítés” részeket, akkor könnyen felismerhetjük, hogy minden repülőgép szimulátor program rendelkezik ezekkel a képességekkel. Kézenfekvőnek látszik tehát a gondolat, hogy használjuk ezeket a szoftverek a HIL, SIL szimulációk során.

## Repülőgép szimulátorok a HIL, SIL szimulációban

Természetesen az elérhető repülőgép szimulátor programok nem mindegyike alkalmas arra, hogy az UAV tervezésében hasznos segítséget nyújtsanak. Jó részük inkább játékprogram mint szimulátor, vagyis nem rendelkezik értékelhető pontosságú légijármű modellel, a modell vagy annak paraméterei nem módosíthatók, új modellek nem készíthetők és a modell aktuális adatai nem érhetőek el futás közben külső programok számára.

Van azonban néhány program, amelyek alkalmasak az előzőekben megfogalmazott célok elérésére és ezek közül két program különösen jól használható és ennek megfelelően meglehetősen népszerű is. Célszerű tehát azt a két programot részletesebben is szemügyre venni.

### FlightGear

A FlightGear [1] egy nyílt forráskódú repülőgép szimulátor, mely számos operációs rendszeren működőképes (Windows, MAC OS, Linux, stb.). Első változata 1997-ben jelent meg és azóta is folyamatos fejlesztés alatt áll. Képes repülőgépek és helikopterek szimulálására és ingyenessége miatt igen népszerű, akár mint szimulációs-megjelenítő vagy csak, mint megjelenítő alkalmazás HIL környezetben.

A HIL/SIL szimuláció számára fontos FlightGear szimulációs adatok, külső programok számára UDP vagy TCP porton férhetőek hozzá, illetve itt van lehetőség a külső program számára, hogy beavatkozó jelet küldjön a szimulátor részére. Ez nagymértékben megkönnyíti a használatát, hiszen a szimulátor akár a HIL/SIL szimulációban használt PC-től külön gépen is futtatható.

Érdekessége, hogy többféle modellezési módszert, modult tartalmaz, ezek szabadon cserélgethetők, illetve újabbak is adhatók hozzá. A FlightGear három szimulációs modult tartalmaz.



2. ábra FlightGear használata HIL szimulációra<sup>3</sup>

### JSBSim

A JSBSim egy 6 szabadságfokú, nem-lineáris repülőgép szimulációs modul, mely egyébként az alapértelmezett szimulációs modul a FlightGear-ben. Szintén nyílt forráskódú, 1996-óta fejlesztik, XML fájlok segítségével konfigurálható melyek alapvetően a szimuláció által használt táblázatokat, illetve a képletek együtthatóit tartalmazzák [2]. Képes levegőnél könnyebb járművek szimulálására is, illetve képes külső erőket is figyelembe venni (pl. csörlőzés, vontatás).

A szimulátort professzionális felhasználásokban is viszontláthatjuk. Például az Aerocross Systems nevű cég Echo Hawk (3. ábra) UAV-jának fejlesztéskor a fedélzeti elektronika tesztelésekor a HIL szimulációban használta[3].



3. ábra Aerocross Systems Echo Hawk UAV<sup>4</sup>

<sup>3</sup> [http://api.ning.com/files/Uhc61-D96XP8achgokIACQ0fDK89bfB1JbT-v65H\\*TwwTSaoVOXmLLQw01a\\*OC9qLxpE\\*5z05qEWDnc-sMJXStkU\\*9Xm8w60/ArduFGC3.jpg](http://api.ning.com/files/Uhc61-D96XP8achgokIACQ0fDK89bfB1JbT-v65H*TwwTSaoVOXmLLQw01a*OC9qLxpE*5z05qEWDnc-sMJXStkU*9Xm8w60/ArduFGC3.jpg)

<sup>4</sup> [http://www.flightglobal.com/assets/getasset.aspx?itemid=18792,](http://www.flightglobal.com/assets/getasset.aspx?itemid=18792)  
<http://www.aerocross.com/images/sideAUVSI.JPG>

## YASim

A YASim a legújabb szimulációs modulja a FlightGear-nek, 2002-ben jelent meg [4]. Az egyetlen modul, ami forgószárnyas légi járműveket is tud szimulálni. Alapvetően geometriai adatokat használ, de a szimulációhoz ezeket nem közvetlenül használja fel, hanem minden FlightGear indításkor legenerálja a szükséges együtthatókat és a továbbiakban azokkal számol. A szimulátor konfigurálása könnyen, XML fájlból megvalósítható.

## UUIC

A UUIC-t a Illionisi Egyetemen fejlesztették ki a 2000-es évek elején. Számos repülőgép modellje elérhető hozzá, bár egy részük nem ingyenes, vagy már nem karbantartott [5]. Vélhetően ez a szimulációs modul hamarosan kikerül a szimulátorból.

## X-Plane

Az X-Plane [6] a Laminar Research cég több platformos (Mac OS, Windows, Linux) repülőgép szimulátora. A szimulátor egyik kiemelkedő tulajdonsága, hogy a szimulációhoz a lapelem elméletet (Blade Element Theory-t) használja, vagyis a gép geometriája alapján számítja az aerodinamikai erőket, mégpedig valós időben. Ehhez az aerodinamikailag fontos felületeket (szárny, vezérsíkok, légcsavarlapátok, stb.) felosztja több elemi részre, majd ezeken az elemeken a lapelem elmélet segítségével, illetve a modell elkészítésénél megadott (pl. szárnyprofil), illetve az aktuális (pl. kormányfelületek) geometriai méretei és az aktuális sebességi adatok alapján felhajtóerőt számol, majd ezeket összegzi. Ezen kívül figyelembe tudja venni a légcsavar, vagy szárny mögötti áramlási viszonyokat. Ezek ismeretében meghatározhatók az egyes helyeken ébredő erők, majd ezek összegzése után a gép tömege és tömegeloszlása alapján kiszámítható a gép mozgása (4. ábra)

Ez a fajta szimulációs módszer lehetővé teszi, hogy nem létező, fejlesztés alatt álló gépeket is be lehessen repülni, viselkedésüket elemezni, akár együtt a repülésvezérlő elektronikával.



4. ábra X-Plane képernyőkép az egyes profilokon számított erőkkel<sup>5</sup>

<sup>5</sup> [http://www.x-plane.com/wp/wp-content/gallery/cache/574\\_\\_400x\\_forces.jpg](http://www.x-plane.com/wp/wp-content/gallery/cache/574__400x_forces.jpg)



Az X-plane szimulátort számos professzionális felhasználásban láthatjuk viszont. Létezik egyrészt egy professzionális változata melyet az FAA<sup>6</sup> bizonyos egyéb feltételek mellett elfogad és a szimulátorban repült idő beszámítható a pilóták repülési idejébe [7].

A CarterCopter nevű cég is használta az X-plane szimulátort az általa kifejlesztett autogyro (5. ábra jobb oldali kép) pilótáinak képzésekor, illetve az ezzel kapcsolatos kutatási célokra is [8]. A fejlesztés ugyan egy géptörés miatt megállt, de a szimulátor hasznos és értékes segítséget nyújtott a munka során.

A Scaled Composites is használta az X-plane-t vizualizációs célra a Space Ship One fejlesztésekor (5. ábra bal oldali kép)



5. ábra CarterCopter autogyro<sup>7</sup> és a SpaceShip One<sup>8</sup>

## Szimulációs környezet felépítése

A teljes HIL/SIL szimulációs rendszer felépítéséhez meg kell oldani az adatok áramlását a szimulátor és a vizsgálni kívánt fedélzeti repülésvezérlő (szoftver (SIL) vagy hardver+szoftver (HIL)) rendszer között.

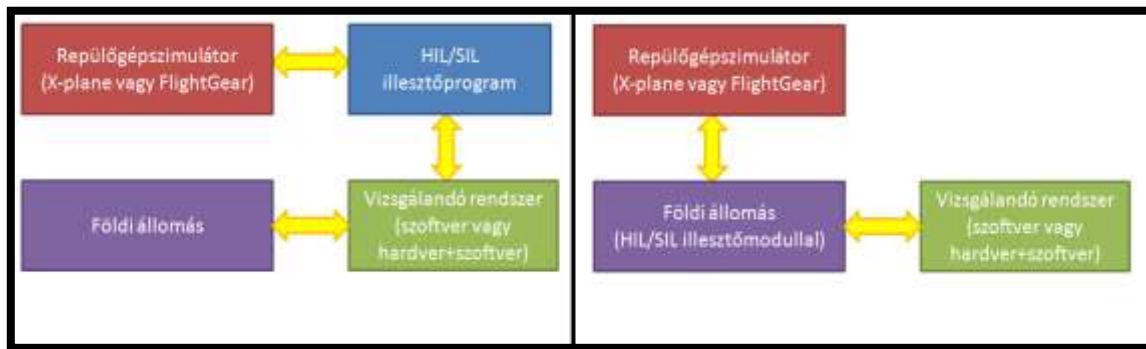
Ehhez a repülésvezérlőnek természetesen rendelkeznie kell valamilyen kommunikációs illesztővel. Ez lehet a már egyébként is meglévő vezeték nélküli csatorna, mellyel a földi állomással kommunikál a repülésvezérlő elektronika a normál működés során, vagy lehet egy külön erre a célra rendszeresített interfész. Ez utóbbinak előnye lehet, hogy akár vezetékes kapcsolat (pl. USB) is kialakítható, így a fedélzeti elektronika energiaellátása is megoldható.

Célszerű ezt az interfészt egyféle protokollal használni, mely független a felhasznált szimulátortól. Ebben az esetben természetesen szükség van egy köztes szoftverre amely a repülőgép szimulátor kommunikációs protokollja és a repülésvezérlő elektronika HIL/SIL protokollja közötti transzformációt elvégzi. Ez általában egy különálló program (6. ábra bal oldal), de célszerűbbnek látszik ezt a funkciót a földi állomás funkciói közé integrálni (6. ábra jobb oldal), hiszen így az egész rendszer könnyebben karbantarthatóbbá és áttekinthetőbbé válik.

<sup>6</sup> Federal Aviation Administration – Amerikai Légügyi Hatóság

<sup>7</sup> [http://www.cartercopters.com/images/cctd/jason\\_bynum\\_cctd\\_2.jpg](http://www.cartercopters.com/images/cctd/jason_bynum_cctd_2.jpg)

<sup>8</sup> [http://www.scaled.com/images/uploads/gallery/spaceshipone/X-Prize\\_1/04\\_09\\_29\\_SpaceShipOne\\_X\\_Prize\\_1\\_0083\\_MD\\_8X10crop.jpg](http://www.scaled.com/images/uploads/gallery/spaceshipone/X-Prize_1/04_09_29_SpaceShipOne_X_Prize_1_0083_MD_8X10crop.jpg)



6. ábra HIL/SIL szimulációs környezet lehetséges adatáramlásai

## Összefoglalás

A cikkben két HIL/SIL szimulációra alkalmas repülőgép szimulátor szoftvert mutattam be. Mind a kettőnek közös tulajdonsága, hogy a belső szimulációs modellek könnyen konfigurálhatók, a HIL/SIL szimuláció számára szükséges adatok TCP/IP protokoll segítségével hálózaton keresztül kinyerhetők, illetve megadhatók a szimulátor számára.

Mindkettő igen fejlett grafikai megjelenítési képességgel rendelkezik, ami nagymértékben megkönnyíti a vizualizálást, a szimuláció aktuális állapotának megértését.

Ugyan csak az egyik program ingyenes és nyílt forrású, de a másik is elérhető áru, így könnyű konfigurálhatóságuk, szimulációs pontosságuk, illetve a modellek adatainak külső elérhetősége okán sikerrel alkalmazhatók HIL/SIL rendszerekben akár a szimulációs akár megjelenítési feladatokra. Segítségükkel könnyen és biztonságosan tesztelhető a fedélzeti repülésvezérlő rendszer szinte minden funkciója, a kommunikációtól kezdve az útvonaltervezésen át akár a repülőgép stabilitását biztosító algoritmusig. Ezzel nagymértékben megkönnyítve, lerövidítve a fedélzeti elektronika fejlesztési idejét.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FlightGear: FlightGear (Letöltve: 2012. március 12.) <http://www.flightgear.org>
- [2] JSBSim (Letöltve: 2012. március 10.) <http://wiki.flightgear.org/JSBSim>
- [3] Berndt JonS: JSBSim Reference Manual (Letöltve: 2012. március 10.) <http://jsbsim.sourceforge.net/JSBSimReferenceManual.pdf>
- [4] YASim (Letöltve: 2012. február 12.) <http://wiki.flightgear.org/YASim>
- [5] UUIC (Letöltve: 2012. március 12.) <http://wiki.flightgear.org/UIUC>
- [6] Laminar Research: X-Plane (Letöltve: 2012. március 10.) <http://www.x-plane.com>
- [7] X-Plane FAA Certification (Letöltve: 2012. március 10.) <http://www.x-plane.com/pro/certified/>
- [8] CarterCopter (Letöltve: 2012. március 12.) [http://www.cartercopters.com/cctd\\_simulator.html](http://www.cartercopters.com/cctd_simulator.html)

Dr. Bottyán Zsolt<sup>1</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖK (UAV-K) FELÜLETI JEGESÉDÉSÉNEK ASPEKTUSAI ÉS A JÉGLERAKÓDÁS BECSLÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI<sup>2</sup>

*A UAV-k felületén kialakuló jégbevonat növeli a gép tömegét, csökkenti az emelőerőt és a kritikus állásszöget, jelentősen növelheti a homlokellenállást, blokkolhatja az impakt és a statikus nyomásszenzorok működését, akadályozza a kommunikációt és a feladat végrehajtását (pl. felderítés). A jégbevonat kialakulását meteorológiai, aerodinamikai és geometriai tulajdonságok befolyásolják, így a jegesedés intenzitásának becslése komplex feladat. Munkánkban statisztikus és dinamikus megközelítési módokat mutatunk be a felületi jégakkréció becslésére majd egy jegesedési szituációt magában foglaló időjárási helyzet környezeti feltételeit figyelembe véve, becslést adunk a Global Hawk HALE UARS repülőeszköz szárnyán képződő jégbevonat geometriájára és intenzitására.*

### **SOME ASPECTS OF STRUCTURAL ICING OF UAVS AND THE POSSIBILITIES OF ICE ACCRETION PREDICTION**

*The ice accretion which is evolved on the wings of UAVs increases the weight and drag, decreases the lift force and critical angle of attack. This phenomenon can block the proper working of pitot-static system, the radio communication and the completion of the mission tasks. The development of ice accretion depends on some meteorological, aerodynamical and geometrical attributes thus the prediction of icing is a very complex procedure. In our work we show statistical and dynamical approaches to forecast the ice accretion and finally we give a prediction of icing of the Global Hawk HALE UARS during its hypothetical flight under a known icing meteorological environment.*

## BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) mozgása során tapasztalható felületi jegesedés számos problémát jelent a repülési feladat végrehajtása során melyek a következőkben összegezhetők:

- az aerodinamika emelőerő és a kritikus állásszög együttes csökkenése;
- a repülőeszköz súlyának növekedése;
- kommunikációs rendszerek működésének korlátozott vagy teljes megszűnése;
- fedélzeti szenzorok hibás működése (pl. pitot-static rendszer, fedélzeti felderítő rendszerek stb.);
- kormányfelületek nem megfelelő működése;
- kiegyensúlyozatlanságból adódó vibrációk megjelenése stb.[1]

<sup>1</sup> százados, egyetemi docens, Nemzeti Közszerológálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu.

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszerológálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

Nyilvánvaló tehát, hogy alapvető fontosságú a jegesedést magában hordozó időjárási szituációk ismerete valamint ezek előrejelzésének megvalósítása. Egy megfelelő meteorológiai támogatásnak lehetővé kell tennie, hogy az időjárás oldaláról felelős döntést lehessen hozni az adott UAV repülésének megkezdéséről vagy elhalasztásáról valamint – amennyiben megkezdődött a repülés – az esetleges útvonal/feladat módosításról. Természetesen a felületi jegesedés csak egy fontos szempont a komplex meteorológiai állapotterben, aminek a figyelembe vétele alapján esetleg be kell avatkozni a repülés menetébe. Munkánkban ennek a veszélyes időjárási jelenségnek az előrejelzési lehetőségeit vesszük számba.

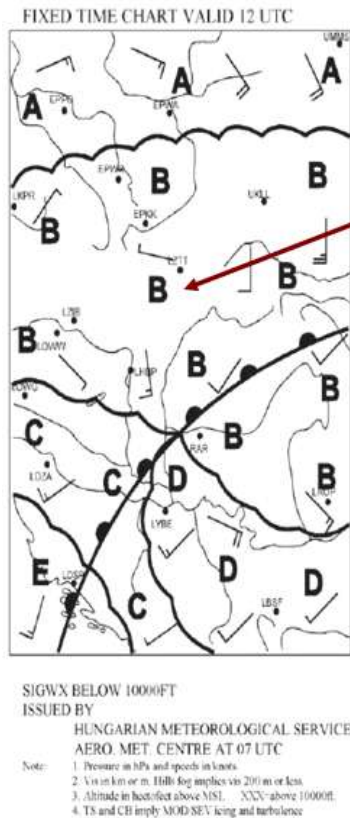
A UAV-k felületén megjelenő jégbevonat kialakulásának időjárási, aerodinamikai és geometriai feltételei vannak. A jégakkréció mennyisége és intenzitása az alábbi paraméterek meglehetősen komplex függvénye:

- áramló levegő környezeti hőmérséklete;
- a levegő repülési szinthez tartozó sztatikus légnyomása;
- a levegőben előforduló folyékony (túlhűlt) vízcseppek koncentrációja és ezek cseppméret-eloszlása;
- a repülőeszköz levegőhöz viszonyított sebessége;
- a repülőeszköz geometriai kialakítása, különös tekintettel a szárnyakra. [2]

Jelen tanulmányban megvizsgáljuk a UAV-k felületi jegesedésének becslési lehetőségeit és egy esettanulmányban be is mutatunk egy 2D jégakkréciós becslési módszert egy adott repülőeszközre vonatkozóan.

## ALAPVETÉSEK

A felületi jegesedés becslése alapvetően a jegesedést magában hordozó időjárási helyzetek előrejelzésén alapul. A meteorológiai szolgálatok által kiadott szignifikáns repülésmeteorológiai térképeken a jegesedést általánosan, az ICAO vagy az FAA által definiált jegesedési intenzitások alapján adják meg és jelölik (1. ábra).



11. 03. 2010. BASED ON 00 UTC DATA ON 11. 03. 2010.

VARIANT	VIS	WEATHER	CLOUD, TURBULENCE, ICING	0°C
AREA A	10+	NIL	SKC/NO CLOUDS BELOW FL100	NSFC-010
LOC	5	BR, HZ		
AREA B	3	-SN, BR	OVC ST, SC, AS 010/XXX	NSFC
LOC	800 m	SN	OVC ST, NS 005/XXX	
LOC S	8	NIL	BKN SC, AC 025/XXX	
AREA C	10	NIL	SCT/BKN SC 020/070	NSFC-015
LOC	4	-SN, -RA	BKN/OVC ST, SC 010/090	
AREA D	10+	NIL	BKN SC, AC 030/XXX	020-030
LOC	4	-SN, -RASN, -RA	OVC ST, SC, AS 010/XXX	
LOC IN MT	500 m	SN	OVC ST, NS SFC/XXX	SFC
AREA E	10+	NIL	BKN CU, AC 035/XXX	035-045
LOC	5	SHRA	BKN/OVC CU, SC, AC 015/XXX	
ISOL	2	+SHRA, TSRA	EMBD CB 010/XXX	
ISOL IN MT	800 m	SHSN	OVC ST, CU, SC, AC SFC/XXX	NSFC

WARNING AND/OR REMARKS  
- WIND ARROWS REFER TO 5000 FEET AMSL.

1. ábra Alacsony szintű szignifikáns térkép jegesedési információval. A bekeretezett sorokban, a nyíllal jelölt területre gyenge jegesedésre utaló adatokat láthatunk. Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat

Ugyanakkor, az előző fejezetben említettek alapján nyilvánvaló, hogy egy adott időjárási szituáció egészen más jellegű jegesedést produkál a repülőeszközök és azok repülési feladatainak függvényében! Pl. előfordulhat, hogy egy karcosú szárnyszelvénnel épített, kis sebességű repülőeszköz erősen jegesedik, míg egy kis szárnyprofil-görbülettel rendelkező, nagyobb sebességű repülőgép egyáltalán nem tapasztal felületi jegesedést egyező környezeti körülmények között! Másrészt, egy adott UAV a pályájának különböző tartományain is szenvedhet eltérő intenzitású és típusú jegesedést pl. a repülési sebesség és/vagy a környezeti paraméterek megváltozása miatt.

A fentebb említett komplex probléma miatt célszerűnek mutatkozik a felületi jegesedés időjárási feltételeinek előrejelzése mellett egy olyan jégakkumulációs modellt is alkalmazni a becslés során, ami figyelembe tudja venni a UAV-k aerodinamikai és alakjait tulajdonságait valamint a tervezett repülési útvonalat egyaránt. Világos azonban, hogy a meteorológiai kondíciók minél pontosabb becslésére kell koncentrálnunk, hiszen ezek szolgáltatják a felületi jegesedési folyamat szükséges környezeti feltételeit.

Meteorológiai oldalról szemlélve a problémát, meg kell vizsgálnunk azokat a időjárási helyzeteket, szituációkat, mozgásrendszereket, melyek magukban hordozzák a UAV-k felületi jegesedésének a lehetőségét. Tekintve, hogy példánkban a jég a repülőeszköz felületén jelenik meg, a légkörben kizárólag túlhűlt (azaz 0°C alatti hőmérsékletű, de folyékony) állapotú vízcseppekkel történő ütközés során tapasztalhatjuk ezt a folyamatot, amikor a környezeti hőmérséklet szintén fagypont alatti. Túlhűlt vízcseppek rendszerint vegyes halmazállapotú felhőkben, mint felhőcseppek fordulnak elő, de hulló ónos eső vagy szitálás formájában is meg-

jelenhetnek. Ez utóbbi esetben beszélhetünk felhőn kívüli felületi jegesedésről.[3]

Ha azt vizsgáljuk, hogy milyen időjárási szituációkban találkozhatunk ilyen feltételekkel, akkor a közepes földrajzi szélességeken három meteorológiai helyzet érdemel említést:

- a zivatarfelhő Cb,
- a melegfronti esőréteg felhőzet Ns,
- az alacsony szintű rétegfelhő St.

A kérdés tehát az, hogy ezeket a felsorolt időjárási jelenségeket, hogyan tudjuk előre jelezni a UAV kezelők számára. Egy repülésmeteorológiai előrejelzésnek magában kell foglalnia számos, a repülésre veszélyes jelenség predikcióját is (komplexnek kell lennie). Ilyen értelemben szükséges becslést adni a felületi jegesedés várható előfordulására és annak intenzitására is. Alapvetően két módszerrel dolgozhatunk: a statisztikus és a numerikus modellezési elvet egyaránt követhetjük.

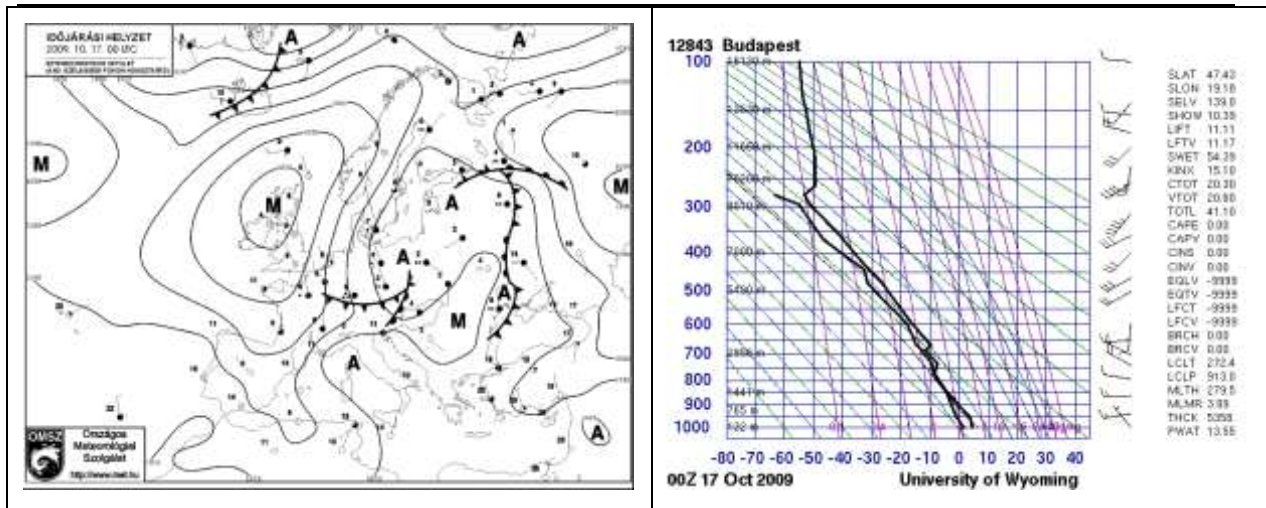
## A STATISZTIKUS MEGKÖZELÍTÉS LEHETŐSÉGE

A statisztikus prognosztika arra az elvre alapul, hogy a légkörben korábban előfordult és észlelt/mért állapotok ismeretéből (mérési adatokból) különböző módszerekkel az atmoszféra viselkedésére vonatkozó törvényszerűségek, összefüggések határozhatók meg, melyek lehetővé teszik – bizonyos korlátok között – az időben előre történő becslést, előrejelzést. Az elv implicit módon feltételezi, hogy a szakszerűen elvégzett mérések (reprezentatív minták) tulajdonságai – adott, meghatározható bizonytalanság mellett – érvényesek az egész sokaságra (a légkörre). Természetesen nincs lehetőségünk jelen tanulmányban a mélyebb diszkusszióra, de fontos megjegyezni, hogy a statisztikus alapon történő becslési mód – a jellegéből fakadóan – gyakran statikus megközelítést ad, hiszen a légköri dinamikát nem tudja követni.

Időpont	Távirat szövege
2009. 10.17. 06:28:59	ATR 72 REPORTED SEVERE ICING BETWEEN 5000 AND 8000 FEET OVER TPS

I. táblázat Példa AIREP táviratra, melyben a személyzet erős jegesedést jelentett 5000 és 8000 láb között Tápiószáp felett repülve

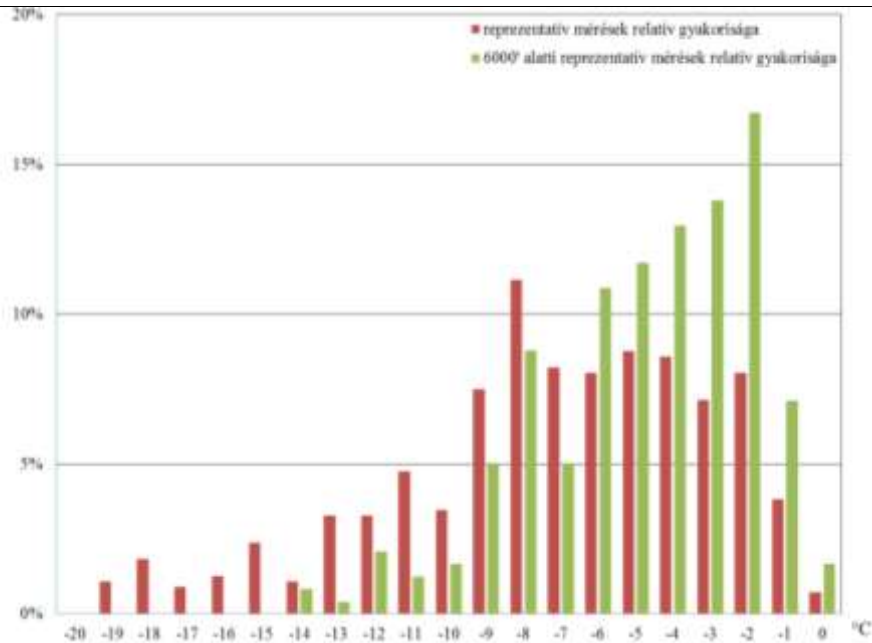
A felületi jegesedés kialakulása repülés közben történik, ezért nehéz megbízható, ugyanakkor nagy mennyiségű adatokhoz hozzájutni. A felhasználható információk leginkább a repülőgépek ún. AIREP jelentései, melyek tartalmazhatnak jegesedésre utaló adatokat (I. táblázat). Feldolgozva ezeket, összekapcsolhatjuk őket archív meteorológiai adatokkal, különböző statisztikai módszerekkel történő feldolgozás céljából (2. ábra).



2. ábra Az európai időjárási helyzet és a légkör vertikális állapota 2009. október 17-én 00 UTC-kor. Forrás: <http://www.met.hu> és <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>

A jegesedési szituációkhoz kapcsolódó archív meteorológiai adatok segítségével a jelenség bekövetkezését össze tudjuk kapcsolni pl. a környezeti hőmérséklet, a harmatpont, a nedvességtartalom vagy éppen az adott napra meghatározható makroszinoptikus helyzettel egyaránt (3. ábra).

A lineáris és nemlineáris többváltozós regresszió módszerével kvantitatíve lehet becsülni pl. a különböző intenzitású jegesedést az adatbázisból kinyert regressziós függvények segítségével.[4][5] Azonban, a jegesedéssel kapcsolatos megfigyelések magát a jégakkumulációt általában (AIREP táviratban is) annak intenzitásával adják meg, egy elég szűk skálán (gyenge, gyenge-közepes, közepes, közepes-erős, erős). Ez a skála elegendő információt hordoz ahhoz, hogy a UAV kezelők dönthessenek a repüléssel kapcsolatban, de a klasszikus regressziós becsüléshez szűk a skála, nem tud a módszer jól osztályozni a meteorológiai változók segítségével. A probléma egyik megoldása a neurális hálózatok bevonása a predikcióba. A neurális hálózatokat számos alkalommal alkalmazták meteorológiai jelenségek (köd, zivatar, felhőzet előrejelzése) vizsgálatához.[6][7][8][9] A neurális hálózatok – melyek működése lényegében többváltozós nemlineáris regresszió alapul – igen jól teljesítenek azokban az esetekben, amikor sok bemenő adatból (prediktor) kell néhány osztályt (prediktandusz) megkülönböztetni. A felületi jegesedés is ebbe a problémaosztályba tartozik, hiszen számos meteorológiai paraméter segítségével kell kiválasztani a valóságnak megfelelő, adott jegesedési osztályt.



3. ábra A jegesedés alatt előfordult környezeti hőmérsékletek relatív gyakorisága az összes és a 6000' alatti AIREP jelentéseket figyelembe véve

A másik lehetséges út a UAV-k jegesedésének előrejelzésére, ha a rendelkezésre álló archív meteorológiai adatok és a jegesedési információk összevetéséből megismert összefüggéseket alkalmazzuk az ún. analóg időjárási helyzetek kiválogatásával kombinálva. [10] Ebben az esetben a feladat az, hogy egy adott pillanatban mért/észlelt időjárási szituációhoz keressük meg a korábban előfordult leginkább hasonló meteorológiai helyzeteket és ezek vizsgálatából, időbeli fejlődéséből adjunk becslést a jelenlegi helyzet várható alakulására vonatkozóan. A jegesedés szempontjából vizsgálva a kérdést, azt kell meghatározni az analóg szituációk kiválogatása után - a korábbi statisztikai vizsgálatok eredményei alapján - az analóg helyzetek hordoznak-e magukban potenciálisan jegesedési potenciált az adott UAV-re vonatkozóan? Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az analóg meteorológiai helyzetek helyes definiálása kulcsfontosságú a módszer használhatóságát illetően és gyakran szakemberek szubjektív véleményét is magában kell, hogy foglalja. [11]

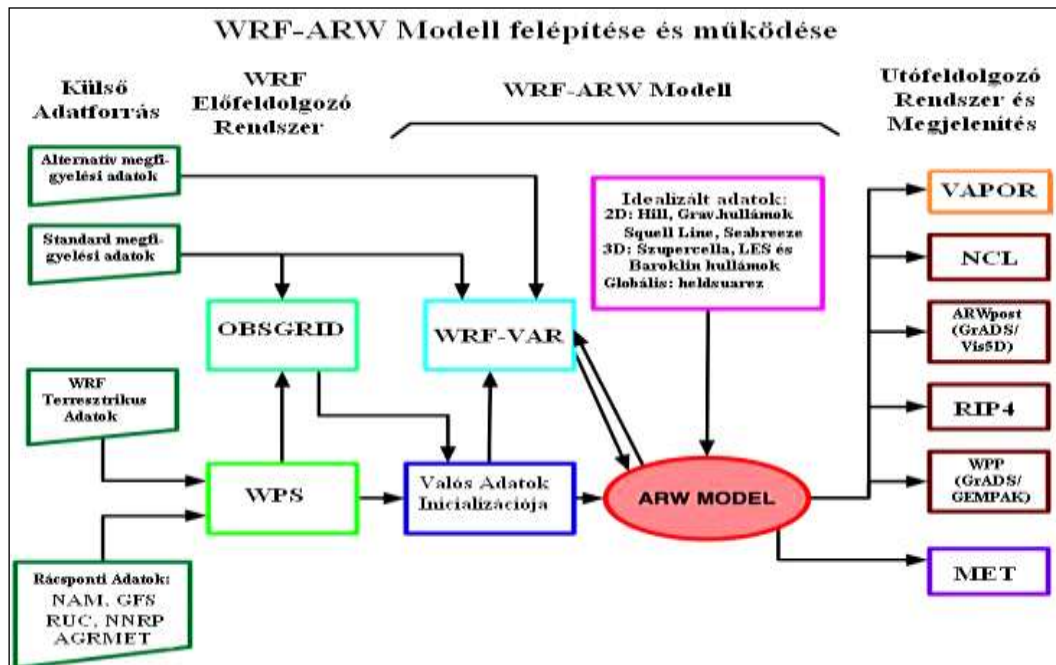
### A NUMERIKUS (DINAMIKUS) MEGKÖZELÍTÉS LEHETŐSÉGEI

A légköri rendszer pillanatnyi állapotának ismeretében lehetőség van az időbeli fejlődés közelítő számítására, amennyiben megoldjuk a légköri hidrodinamikusan egyenletrendszer (HTER). A módszer a numerikus prognosztika tárgykörébe tartozik és a HTER megoldásának számos problémája mellett az utóbbi 2-3 évtized során az első számú előrejelzési módszerré fejlődött. [12]

A felületi jegesedés folyamata azonban gyakran mikro-léptékű skálán zajlik, de a mezo skálán nem mutat túl, emiatt a numerikus megközelítés során nagy térbeli és időbeli felbontású modellre van szükség, ami jelentősen nehezíti az említett folyamat előrejelzését. [14] Ráadásul a felhőfizikai folyamatok parametrizációs lehetősége is igen szerteágazó a különböző modellek esetén. Ugyanakkor a mai korszerű modellek (pl. WRF) lehetővé teszik olyan felhőfizikai parametrizációk alkalmazását, amelyek modellváltozóként előállítják a jegesedési folyamat



alakításában fontos szerepet játszó állapotváltozók értékeit. [13] Fontos azonban tudnunk, hogy pl. a felhőelemek cseppméret-eloszlása, ezek koncentrációja vagy a folyékony víztartalom (LWC) numerikus becslése - még a legújabb parametrizációs eljárásokban is – csak közelítő pontosságúnak tekinthető. Növeli a bizonytalanságot a modell által alkalmazandó nagy térbeli és időbeli felbontás is (4. ábra).



4. ábra A WRF numerikus előrejelző rendszer működésének folyamatábrája. [14]

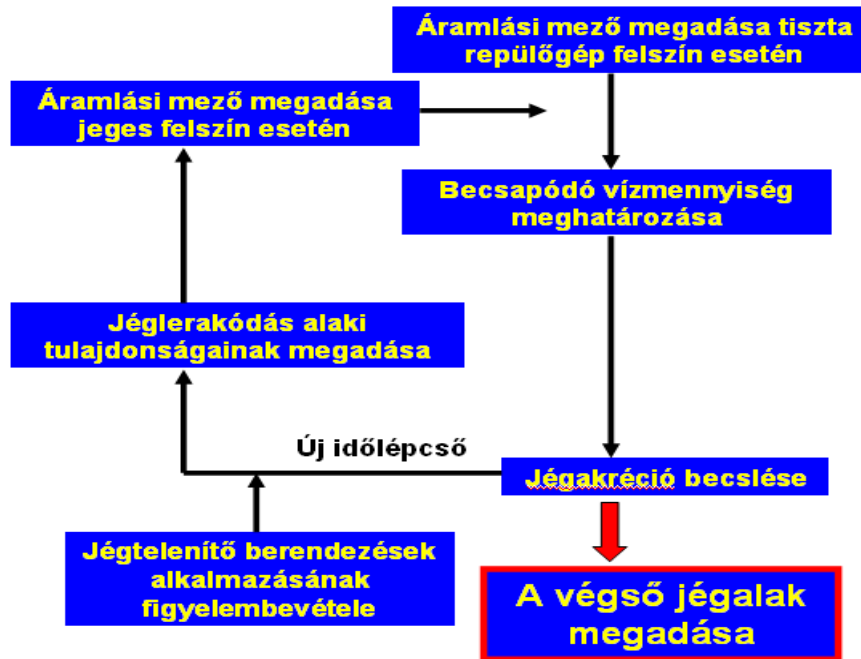
Mindazonáltal, a numerikus modellek által szolgáltatott közvetlen output adatok önmagukban nem használhatók a jegesedés becslésére, hiszen ez a folyamat csak akkor zajlik, ha a jégakumuláció meteorológiai, aerodinamikai és az adott UAV geometriai feltételei egyidejűleg adottak ehhez. Maga a modell csak a környezet időjárási körülményeinek becslését végzi, ezért a jéglerakódás feltétel-rendszerének ismerete tehát elengedhetetlen ahhoz, hogy a modell adatainak a jegesedési feltétel-rendszerrel történő összevetése után eldönthessük, hogy milyen intenzitással várható a folyamat bekövetkezése.

## A JEGESEDEST ALAKÍTÓ FOLYAMATOK FIZIKAI MEGKÖZELÍTÉSE

A jegesedési folyamat feltétel-rendszerét mind statisztikus (matematikai), mind pedig dinamikus (fizikai) úton meghatározhatjuk. A statisztikus megközelítéseket korábban már áttekintettük. A fizikai megközelítés során magát a felületi jéglerakódás folyamatát kell modelleznünk, vagyis a ható folyamatokat és megmaradási törvényeket alkalmazva kell leírni a szituációt. Erre számos megfelelő modell létezik, melyek közül munkánkban egy egyszerű, de ugyanakkor jól használható módszert alkalmazunk.[15] Ez a modell egy nem forgó hengeren kialakuló jégfelszínre vonatkozóan felírt ún. energia-egyensúlyi egyenlet megoldásán alapul, mely valójában a különböző termodinamikai folyamatokra vonatkoztatott egyenlet [16]

Az említett fizikai modell meghajtásához szükséges ismerni a környezeti változók értékeit, úgymint: hőmérséklet, statikus nyomás, folyékony víztartalom, cseppméret-eloszlás. Másfelől

tudnunk kell az adott UAV repülési sebességét a levegőhöz viszonyítva (TAS) valamint ismernünk kell a belépő él közelítő görbületi sugarát is. Amennyiben rendelkezünk ezekkel az adatokkal, az említett fizikai jégakkumulációs modell képes 2D-ban becslést adni a jégakkréció intenzitására a belépő él felülete mentén és így a jegesedés alaki tulajdonságai is modellezhetővé válnak. Az ismert környezeti változók alapján a jéglerakódás becslésének lépéseit egy folyamatábra segítségével foglalhatjuk össze (5. ábra).



5. ábra A jéglerakódás becslésének folyamata a dinamikus jégakkréciós modellben. Forrás: <http://extice.cira.it/project/proposal-summary>

## ESETTANULMÁNY

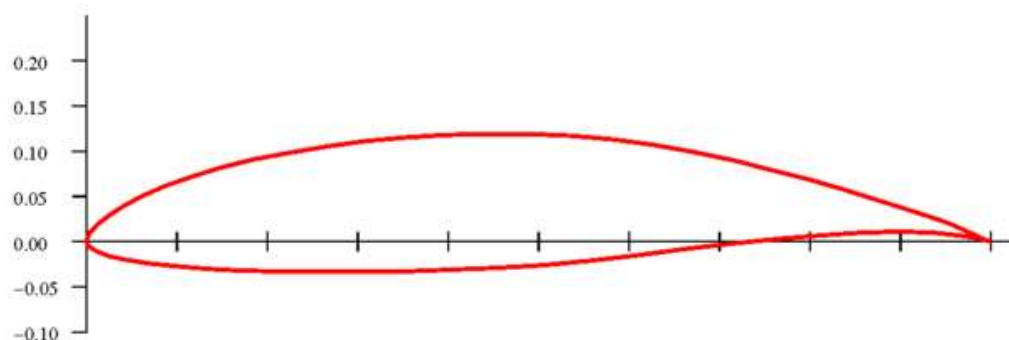
Munkánkban egy konkrét jegesedést előidéző meteorológiai szituáció környezeti feltételeit felhasználva, becslést adunk a fentebb említett akkréciós modell segítségével egy nagy hatótávolságú UAV jegesedési intenzitására. A választott repülőeszköz a Northrop Grumman cég RQ-4B Global Hawk Block 30 (továbbiakban GH) típusa, mely az egyik legkorszerűbb nagy hatótávolságú pilóta nélküli repülőeszköz (HALE UARS), mely rendszerben áll (6. ábra). A GH tesztrepülései utáni kiértékelésben külön kiemelték, hogy a bármely időjárási helyzetben történő alkalmazási lehetőségei korlátozottak, alapvetően a felületi jegesedési problémák miatt, hiszen a repülőgép nem rendelkezik repülés közbeni jégletlenítő rendszerrel! Külön említi a tanulmány a fel- és leszállás közben előforduló jegesedést. [17] Ráadásul a GH szárnygeometriájából fakadóan, jegesítő időjárási közegben repülve a szárny igen nagy ütközési hatékonyságot produkál a túlhűlt felhőelemekkel kapcsolatban, ami azt jelenti, hogy nagy hatékonysággal gyűjti az útjába kerülő cseppeket. [18]



6. ábra Az RQ-4B Global Hawk HALE UARS repülőeszköz repülés közben.

A GH szárnyának kialakítását a NASA LRN 1015 kódú szárnyprofil alapján végezték. Tekintve, hogy az adott szárnyprofil geometriai adatait nem tudtuk fellelni, így a hozzá nagyon hasonló NASA NLF 1015-ös szárnyprofil alaki tulajdonságaiból indulunk ki, melyet szintén jól jellemez, a karcsú kialakítás (7. ábra). A GH szárnyának húrhossza változó, munkánkban 1,6 m-es értékkel dolgoztunk, ami a szárnytőtől elegendő távolságban mérhető ahhoz, hogy a repülőeszköz testének határreége ne befolyásolja jelentősen az áramlási mezőt. Az adott geometriai tulajdonságok és a húrhossz alapján a belépő él görbületi sugarára 0,0704 m adódott. [19]

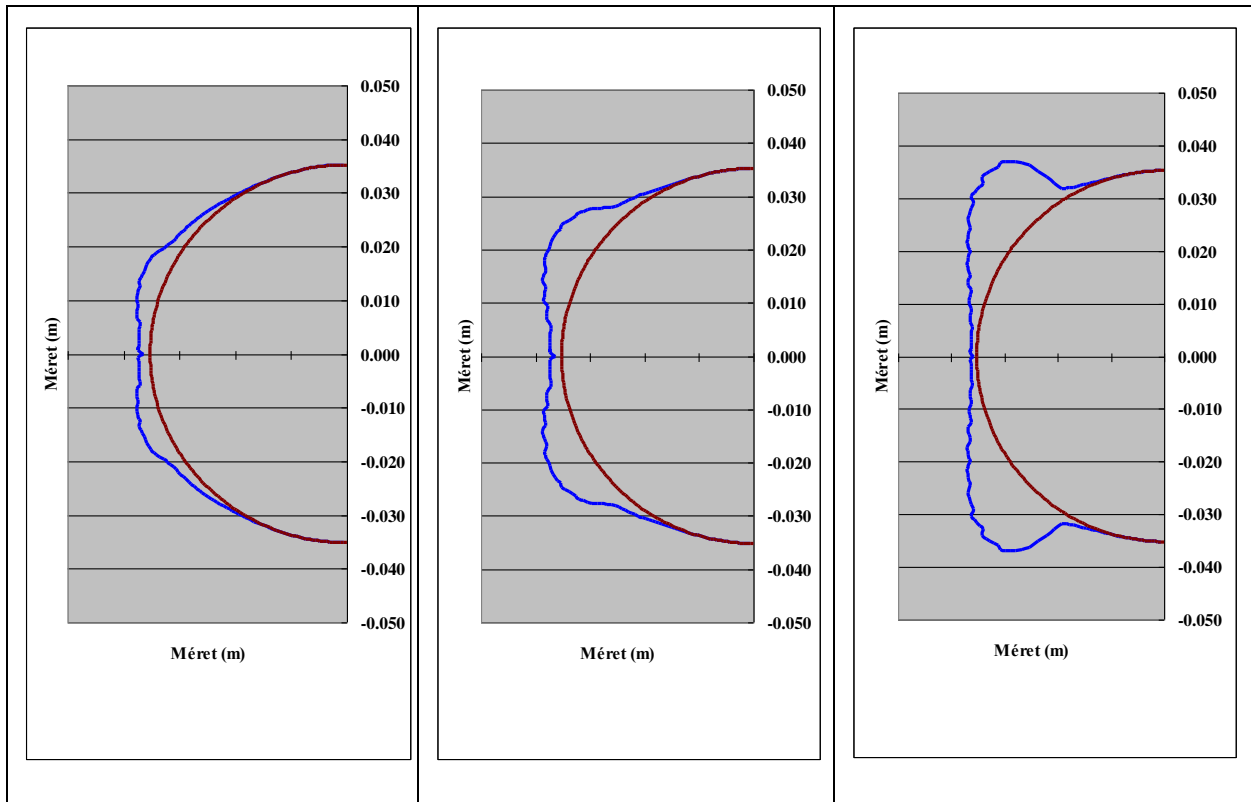
## NASA NLF1015



7. ábra A NASA NLF 1015 szárnyprofil geometriai kialakítása, mely jól közelíti a GH szárnyprofilját.

Az esettanulmányhoz a korábban említett, 2009.10.17-én előfordult és felületi jegesedést magában hordozó időjárási szituációt választottuk (I. táblázat). Az adott felhőzet Ns jellegű felhőzetre vonatkozóan feltételeztünk egy 20  $\mu\text{m}$ -es átlagos felhőcsepp-méret átmérőt, az ilyen felhőkben előforduló  $\Gamma$ -eloszlás mellett. A folyékony víztartalom értékét 0,0005 g/kg értékkel

adtuk meg, ami szintén jó közelítés az adott felhőkre jellemzően. [20] A repülési magasságot 5000 lábnak (a hőmérséklet  $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , statikus nyomás 847 hPa), míg a sebességet 50, 80 és 110 m/s-nak választva, 5 perces hipotetikus repülési időt feltételezve, (állandó környezeti és aerodinamikai paraméterek mellett) az alábbi akkréciókat becsli a modell (7. ábra).



8. ábra A GH UARS belépő élén kialakuló jégakkréció alakja különböző repülési sebességek és változatlan környezeti feltételek mellett, a vizsgált időjárási helyzetben. Bal oldali ábra: 50 m/s TAS, középső ábra: 80 m/s TAS, jobb oldali ábra: 110 m/s TAS.

A 8. ábrán látható mindhárom becslés esetén nedves jellegű jegesedéssel találkozunk, melynek fontos tulajdonsága, hogy a legintenzívebb jégfelhalmozódás nem a belépő élénél tapasztalható, hanem attól távolabb. A repülési sebesség növekedésével egyre inkább várható az áramlást leginkább rontó, ún. szarv alakú jégbevonat (horn ice) kialakulása (7. ábra jobb oldali kép).

Másfelől a fizikai modell segítségével kaphatunk becslést az érték a jégfelhalmozódás intenzitására vonatkozóan is. Különböző jegesedés-intenzitási standard-ok léteznek, melyek közül most az FAA által alkalmazott osztályozást választva, megállapíthatjuk a szárnyfelületen számolt jéglerakódás sebességéből (mm/perc mértékegységben számolva) az adott jégfelhalmozódás intenzitását.[16] Amikor a repülési sebesség 50 m/s TAS, a maximális akkréciós sebesség 0,86 mm/perc (21 fokra a belépő éltől), ami közepes intenzitásnak felel meg. 80 m/s TAS-nál ugyanez az érték 1,56 mm/perc (30 fokra a belépő éltől), míg 110 m/s TAS esetén 2,48 mm/perc (45 fokra a belépő éltől). Mindkét utóbbi érték már az erős FAA jegesedés-intenzitás kategóriába tartozik!

A modell által szolgáltatott eredmények azt támasztják alá, hogy az adott időjárási helyzetben a GH UARS repülőeszköz is közepes vagy erős jegesedési szituációban repült volna és az ehhez hasonló időjárási helyzet komolyan veszélyeztetheti a missziót és magát a repülőeszközt egyaránt. Alapvető fontosságú tehát, hogy az UAV-k repülését támogató meteorológiai

rendszer a felületi jegesedés predikcióját is hatékonyan végezze el a munkánkban említett módszerek kombinált alkalmazásával. Amennyiben ez megvalósul, a támogató rendszer jelentősen segíti a döntéshozók és az eszközt vezetőik munkáját és egyben hozzájárul a repülések biztonságának magas szinten tartásához.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A munkánkban bemutattuk, hogy az UAV-k szárnyfelületén képződő jégakkréció becslésére statisztikus és dinamikus (numerikus) módszereket egyaránt alkalmazhatunk. A vizsgálatok eredményeképpen a következőkben foglalhatjuk össze az eredményeinket:

- a UAV-k felületén kialakuló jégbevonat veszélyezteti a misszió végrehajtását és magát a repülőeszközt is. A kirakódó jég növeli a gép tömegét, csökkenti az emelőerőt és a kritikus állásszöget, jelentősen növelheti a homlokellenállást, blokkolhatja az impakt és a statikus nyomá szenzorok működését, akadályozza a kommunikációt és a feladat végrehajtását (pl. felderítés). A jégbevonat kialakulását meteorológiai, aerodinamikai és geometriai tulajdonságok befolyásolják;
- a jegesedést magában hordozó időjárási helyzetekben mért meteorológiai archív adatok alapján megállapítható, hogy milyen időjárási helyzetekhez kapcsolódik leginkább a jégbevonat képződése. Ezek a nyári félév zivatarjaihoz, az átmeneti évszakok melegfronti Ns és a téli félév alacsony St felhőzetéhez kapcsolódnak. Fontos ezek klimatológiai feldolgozása egy adott UAV-k által használt térségben;
- ismert jegesedési esetekhez kapcsolódó meteorológiai adatok statisztikus módszerekkel történő vizsgálatával prognosztikai szempontból hasznos információ nyerhető, melyek a klimatikus információkkal együtt alapját képezi (első közelítésben) a UAV-k számára készülő prognózisnak. Az alkalmazható matematikai (statisztikai) módszerek: lineáris és nem-lineáris regresszió, neurális hálózatok és az analógián alapuló osztályozás;
- a légkörben zajló folyamatok előrejelzésének dinamikus megközelítése a numerikus modellek alkalmazását feltételezi. Ekkor nagy tér és időbeli felbontású modellek alkalmazásával az atmoszféra állapotváltozásait tudjuk becsülni egy adott prognosztikai tartományra. Az állapotváltozók értékei alapján, pl. egy alkalmazott jégakkréciós fizikai modell segítségével lehet meghatározni az adott UAV-re érvényes jegesedési intenzitásokat és típusokat;
- egy esettanulmányban bemutattuk, hogy egy egyszerű fizikai jégakkréciós modell segítségével hogyan lehet becsülni a GH UARS esetében a szárnyon kialakuló jégbevonat mennyiségét, alakját és intenzitását. Egy konkrét időjárási helyzethez készített modellszámítás segítségével bemutattuk, hogy a GH szárnyán széles repülési sebesség-tartományban közepes/erős jegesedést tapasztalhatnánk, amennyiben a repülőgép ilyen körülmények között repülne.

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások”, pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] GENT, R. W., DART, N. P., CANSDALE, J. T.,: Aircraft Icing. Philosophical Transactions of The Royal Society. Lond. A., 358, 2000. 2873-2911.
- [2] LIST, R.: Ice accretions of structures. Journal of Glaciology, Vol. 19. , No. 81, 1977, 451-465.
- [3] FUCSH, W. and SCHICKEL, K. P.: Aircraft icing in visual meteorological conditions below low stratus. Atmospheric Research, 36, 1995. 339-345.
- [4] EZEKIEL, M. és FOX, K. A.: Korreláció és regresszióanalízis. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó. Budapest. 1970.
- [5] DÉVÉNYI, D. és GULYÁS, O.: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó. Budapest. 1988.
- [6] GARDNER, M., W. and DORLING, S. R.: Artificial neural networks – A review of applications in the atmospheric sciences. Atmospheric Environment, Vol. 32., No. 14/15., 1998., 2627-2636.
- [7] McCANN, D., W.: NNICE – A neural network aircraft icing algorithm. Environmental Modelling & Software. Vol. 20., 2005, 1335-1342.
- [8] McCANN, D., W.: A neural network short-term forecast of significant thunderstorms. Forecasting Techniques. Vol. 7., 1992, 525-534.
- [9] FABBIAN, D. and DE DEAR, R.: Application of artificial neural network forecast to predict fog at Canberra International Airport. Weather and Forecasting. Vol. 22., 2007., 372-381.
- [10] HALL, T. J., THESSIN, R. N., BLOY, G. J. and MUTCHLER, C. N.: Analog sky condition forecasting method based on a k-nn algorithm. Weather and Forecasting, Vol. 25., 2010., 1463-1478.
- [11] HANSEN, B.: A fuzzy-logic based analog forecasting system for ceiling and visibility. Weather and Forecasting, Vol. 22., 2007., 1319-1330.
- [12] BOTTYÁN, Z.: A repülésre veszélyes mezo-skálájú meteorológiai jelenségek modellezésének aspektusai - numerikus prognosztikai megközelítés. Repüléstudományi Közlemények, Vol. 21. No.2.
- [13] SKAMAROCK W. C., KLEMP J. B., DUDHIA J., GILL D. O., BARKER D. M., WANG W., POWERS J. G.: A Description of the Advanced Research WRF Version 2., NCAR Mesoscale and Microscale Meteorology Division, NCAR Technical Note. 2005., [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\\_v2.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v2.pdf)
- [14] WENDL, B.: A WRF modell segítségével készült szélenergia becslése vizsgálata Mosonmagyaróvár térségében. ELTE-TTK szakdolgozat, Budapest. 2009.
- [15] LOZOWSKI, E. P., STALLABRASS, J. R., HEARTY, P. F.: The Icing of an Unheated, Nonrotating Cylinder. Part I: A Simulation Model, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 22., 1983, 2053-2062.
- [16] BOTTYÁN, Z.: Estimation of structural icing intensity and geometry of aircrafts during different conditions - a fixed-wing approach. Időjárás, Vol. 115., No. 4., 2011., 275-288.
- [17] RQ-4B Global Hawk Block 30.: Operational Test and Evaluation Report. 2011.
- [18] BOTTYÁN, Z.: A szárnyprofil-geometria és az ütközési hatékonyság kapcsolata a repülőgépek felületi jegesedésének folyamata során. Repüléstudományi Közlemények, Vol. 24. No.1., 43-50.
- [19] ABBOTT, I. A., von DOENHOFF, A., E.: Theory of wing sections. Dover, New York, 1959.
- [20] GERESDI, I.: Felhőfizika. Dialóg Campus Kiadó. Budapest-Pécs. 2004.



Dudás Zoltán<sup>1</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK ALKALMAZÁSÁNAK HUMÁN ASPEKTUSBÓL TÖRTÉNŐ VIZSGÁLATA<sup>2</sup>

*A szerző megkísérli felvázolni az UAV repülés, mint a repülés speciális formájának emberi tényezőiben rejlő kutatási lehetőségeket. Bemutatja egy jövőbeni kutatás részterületeit: a kiválasztási rendszert, a képzést, az engedélyezést. Kitér az UAV repülés repülésbiztonsági és hatósági engedélyezési összefüggéseire. Részletesen taglalja a kutatás szakaszait és tartalmát, valamint várható eredményeit.*

### **A RESEARCH PROJECT ON THE HUMAN FACTORS IN UAV OPERATIONS**

*The Author attempts to outline the HF of a special form of aviation the UAV operations, as a possible target area for a scientific research. Several subfields of an upcoming project are introduced such as the selection system, training, and licencing of UAV crews. The article refers to the flight safety implications and licencing contexts of UAV operations. Finally the author details the main stages and subjects of the research, as well as its expected conclusions.*

### A TÉMA KUTATÁSÁNAK INDOKOLTSÁGA<sup>3</sup>

A pilóta nélküli légi járművek (a továbbiakban: UAV) alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálatát és aktualitását több tényező is indokolja. Az ilyen típusú légi járművek számának növekedésével, terjedésével a légtérben két alapjaiban hasonló, de módszereiben eltérő légiközlekedés jelenik meg: a hagyományos és a távirányítású repülés. A kétféle repülési forma egyazon légtérben, elvileg egyazon szabályrendszerben zajlik, de az már ma is látható, hogy a repülésbiztonság sérelme nélkül a légtér a mai szabályok szerint nem lesz megosztható. Hiányosak az UAV hazai alkalmazásának a jogszabályi keretei, megjelenésük igénye viszont egyre égetőbbé válik a repülések végrehajtásának bizonyos speciális területein. Hazánkban még nem került sor az UAV békében történő alkalmazásának átfogó jellegű feldolgozására, így annak légiközlekedés biztonsági-, mind alkalmazói környezetének vizsgálata szempontjait sem érintették eddig. A TÁMOP-4.2.1. B-11/2/KMR-2011-0001 számú „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című pályázat keretében, „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata és a szabályozói környezet meghatározása” című kiemelt kutatási terület a meglévő hazai jogszabályok, illetve nemzetközi ajánlások feldolgozását célozza meg. Ezek kiértékelését követően a döntéshozatalban és a végrehajtásban érintett potenciális szervezetek, megrendelők a hiányzó jogforrásokhoz és a gyakorlati repülések tervezéséhez, végrehajtásához, azok ellenőrzéséhez hasznos ajánlást kapnak. Az UAV rendszerek alkalmazása kapcsán az emberi aspektus, nevezetesen a légi jármű irányító személyzetének kiválogatása és képzése tárgyában folytatott kutatásunk, hazai viszonylatban egyedülálló lehet.

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék; dudas.zoltan@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>3</sup> TÁMOP-4.2.1. B-11/2/KMR-2011-0001 számú „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázati anyag

A projekt abban nyújthat különlegeset, például a NATO által folyó, harc-specifikus kutatásokkal szemben, hogy az UAV pilóták kiválasztására és képzésére mindenre kiterjedő (pl.: egészségügyi, elméleti-gyakorlati képzésbeli összetevők) program kidolgozását tűzte ki céljául.

## AZ UAV SZEMÉLYZET PROBLEMATIKÁJA

A pilóta nélküli légi járművek terjedése a légiközlekedésben, napjainkban egyre élesebben veti fel a repülésbiztonság kérdését. A hagyományos, vagy másként pilótás légiközlekedés rendszere bejáratott és stabil infrastrukturális és jogi háttérével ultrabiztonságos rendszernek tekinthető, amennyiben a repülés kockázatait –eredjenek azok a tevékenység bármely területéről- megfelelő szinten képes kezelni. Ez a megfelelő szint nem más, mint az ún. elfogadható biztonsági szint, amely tulajdonképpen a repüléstől elidegeníthetetlen, ugyanakkor és a repülés során vállalható és vállalható kockázat maximumát jelenti. A kockázat, vagy elfogadható biztonsági szint a légiközlekedés különböző ágazataiban más és más, hiszen könnyen belátható, hogy például egy nagysebességű harci légi jármű feladata, a repülés módja és célja, valamint kockázata teljesen más, mint egy polgári kereskedelmi légi jármű esetében. Mégis, a repülés rendszere, mely modern és erős eszközrendszerre, szabályokra és kiválóan képzett személyzet magas szintű együttműködésére támaszkodik, képes a különböző repülési célokat és módokat egymáshoz igazítani. Bár a repülés ágazatonként más és más, a rendszer egyes különböző elemei rugalmasságánál fogva bizonyos fokig egymásba illeszthetők. Ilyenformán a különböző kockázati szintű repülések szabályok mentén elkülöníthetők, vagy kompatibilissé tehetők. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a légtér felhasználása párhuzamosan és folyamatosan lehetséges a különböző célú, módú és kockázatú repülések számára, mialatt a teljes repülés kockázata nem nő jelentősen. Ennek ok abban keresendő, hogy a légiközlekedés fejlődésében a különböző kockázati szintű elemek (katona, polgári) egymást támogatva szervesen fejlődtek, tehát alapjaik lényegében ugyanazok. A légtér felhasználása más célból és módon, de ugyanazon elven történik. Leegyszerűsítve: a légi járműveket ember, pilóta repüli miközben egy egyértelmű és kifinomult szabályrendszernek megfelelően, egy teljes, valós idejű légtérelőzési, navigációs infrastruktúrára és emberi irányításra támaszkodik. Ez a rendszer egyértelműen épít a légi jármű fedélzetén tartózkodó pilóta olyan tevékenységeire, mint például a légi jármű repülésének szervezése, a repülés során döntések meghozatala, szabályok betartása, problémák megoldása, a repülési helyzet folyamatos értékelése, vagy a légiforgalom irányítás utasításainak végrehajtása.

Egy pilóta nélküli, pontosabban a fedélzetén pilóta közreműködése nélkül repülő légi jármű esetében a repülés hagyományos rendszere egyszerre csődöt mondhat. A légi jármű repülését végző személy, az UAV pilóta a légi járműtől nagy távolságban végzi munkáját, mialatt a fedélzetén csak a légi jármű vezérlése erejéig, virtuálisan van jelen, például a légihelyzet fedélzeti érzékelése, a légtérben a többi légi járműtől való elkülönítés nem valósulhat meg. Így a repülés biztonsága nem garantálható, hiszen a hagyományos, pilótás repülés esetében a pilótára háruló feladatok végrehajtása és a repülés biztonságaért szakmai felelősség ésszerűen nem kérhető számon.

### **Az UAV pilótákkal szembeni követelmények**

A hagyományos légiközlekedés szakszemélyzetének kiválasztási, alkalmassági kritériumait, valamint a repüléshez szükséges képzési bemeneti és kimeneti követelményeit, valamint a



szakszolgálat ellátásához, azaz a felzeti beosztás feladatainak szakmailag és biztonságos elvégzéséhez szükséges követelményrendszert nemzetközi és nemzeti szabályzók, jogszabályok rögzítik. A szakszolgálat ellátása a repülés legtöbb területén hatósági engedélyhez kötött, amennyiben a légitörvények, vagy ahhoz köthető tevékenységre a nemzetközi, vagy nemzeti hatóságok adnak engedélyt. Az engedély megszerzésének egészségügyi, közbiztonsági, szakmai feltételei vannak, s maga az engedély orvosi vizsgálat, elméleti és gyakorlati vizsgát követően nyerhető el, amennyiben az engedélyért pályázó személy a már leírt feltételeken túl a repülés ágazatában megfelelő minőségi képzést kapott és gyakorlatot szerzett. Így tehát az engedély, melynek birtokában a szakszolgálat ellátható, bizonyos minőségi garanciát jelent a repülés egyébként leggyengébb láncszemeként számon tartott ember, vagyis szakszemélyzet szempontjából. A légitörvények minősége és egyben biztonsága tehát jól képzett, garantáltan alkalmas a repülés rendszerébe illeszkedő és azt jól ismerő emberek kezében van. De mi a helyzet a pilótánélküli légitörvények személyzetével és az UAV repülésével?

Ebben az esetben azt látjuk, hogy a repülés mai rendszere az alkalmazás, a személyzet vonatkozásában is nehezen birkózik meg azzal a kihívással, amit ennek a viszonylag új technológiának a hagyományos légitörvényekkel való összeillesztése jelent. Magyarán szólva a mai rendszer még nem képes biztonságos megoldást találni az új típusú repülés kockázatainak kezelésére. Így a legegyszerűbb megoldás, a kétféle, tehát pilótás, és nem pilótás légitörvények fizikai kettéválasztása, elszigetelése jelenti az egyetlen megoldást.

A szakszemélyzet engedélyezése pedig megfelelő szabályok híján nem valósul meg, így az az elv, hogy légitörvényt a légitörvényvezető, azaz a pilóta repüli sérül, hiszen az UAV vezetésével foglalkozó személy ellenőrizhetően és feltétlenül nincs azoknak az ismereteknek és képzettségnek a birtokában, amely a légitörvényekben való biztonságos részvételnek alapvető feltétele. Ebben az esetben az UAV repüléshez szükséges pszichikai és fizikai alkalmasság követelményeiről szó sem ejtettünk.

## A KUTATÁSI RÉSZTERÜLETEI

A humán tényezőket vizsgáló kiemelt kutatási terület alapvetően azt a célt tűzi maga elé, hogy a hagyományos, pilótás repülés kiválasztási, képzési, engedélyezési módszerei analógiáján haladva meghatározza és kidolgozza azokat a módszereket és kritériumokat, melyek kizárólag az UAV személyzetre vonatkoztathatók. A kutatás résztvevői ezért a légitörvények különböző területeiről érkeznek. A kutatócsoport összeállítása tükrözi azt az igényt, amely szerint a kiemelt kutatási terület az UAV repülés humán tényezőinek feldolgozásában a teljességét célozza meg.

### A kutatás szakaszai és módszerei

Az UAV alkalmazás humán feltételeinek felderítése és körülírása a terület magas fokú komplexitása miatt változatos kutatási módszereket igényel. Feladatunk a kutatás kezdeti szakaszában az UAV állami célú alkalmazás szakmai, jogi hátterének felderítésével diagnosztikai értékelés elkészítése és a fejlesztésre érdemes területek felderítése. A kutatás kezdetén tehát a dokumentumelemzés jelenti majd a legfőbb feladatot. Ezen szakasztól azt várjuk, hogy kirajzolódnak az UAV üzemeltetésében fennálló alkalmazási lehetőségek és természetesen az ahhoz kötődő szabályozatlansági és egyéb problémák, hiányosságok, melyekre a kutatás eredményei adhatnak majd választ.

Az UAV személyzet összetételének meghatározásához szükséges szakmai elvi alapokat, továbbá képzésének, továbbképzésének, kiválogatásának egy lehetséges és megvalósítható módszerét a hagyományos repülés két szakterületén bevált, a légiforgalmi irányítók és a pilóták esetében már bevált módszerekre és eljárásokra építve dolgozzuk ki. Várhatóan mindkét szakterület módszereiből kerülnek adaptálásra és integrálásra elemek. Ehhez a munkához alapvetően gyakorlati módszerek alkalmazása szükséges. A „jelöltek”, tehát az UAV működtetése szempontjából számba vehető célcsoport tagjai, repülő egészségügyi, fizikai, szakpszichológiai vizsgálaton esnek át. Ilyenformán a cél annak modellezése, hogy egy átlagos UAV repülés személyzetének egy átlagos terjedelmű és bonyolultságú feladat megoldásához, milyen adottságokkal, képességekkel, készségekkel kell rendelkezniük, illetőleg az adott vizsgálati területen, hol állapítható meg az alkalmaság határa. A korházi, laboratóriumi vizsgálatokat követően a jelöltek egy-egy része különböző szintű képzésben részesül majd, míg egy részük semmilyen a repülést érintő képzést nem kap. Ezek után a kutatás módszerei közül a kísérletezés kap nagyobb hangsúlyt, ahol kidolgozott szempontrendszer alapján UAV szimulátor alkalmazásával megkezdődik a repülés gyakoroltatása. A gyakorlati repülés tematikája többféleképpen, a jelöltek felkészültségéhez igazítva kerül majd kidolgozásra. A repülések értékeléséből nyert adatok alapján történik meg a képzési optimum megállapítása, illetve a képzés ideális terjedelmének és tartalmának kidolgozása.

A kísérletből nyert tapasztalatokból, adatokból várhatóan nem csupán a képzéssel kapcsolatban vonhatunk le következtetéseket, hanem az alkalmazás különböző területeinek eltérő személyzet igényével kapcsolatban is. A különböző alkalmazásokból adódó (rendészeti, katonai etc.) feladatokat eltérő összetételű és felkészültségű személyzetet képes megoldani, ezért a személyzet összeállításának, valamint az elméleti és gyakorlati képzésnek alkalmazkodnia kell a felmerülő specifikus követelményekhez.

### **Az UAV operátorok kiválasztási rendszere**

A légi járművezetők kiválogatása a repülést hivatásszerűen űző személyzet vonatkozásában elsődleges, hiszen a minőségi és biztonságos munkavégzés előfeltétele, hogy meggyőződhessünk arról, vajon a repülést hivatásának választó személyek birtokában vannak-e a rájuk váró feladatok elvégzéséhez szükséges adottságoknak, és készségeknek. Ennek megfelelően kutatásunk a pilóták és légiforgalmi irányítók kiválogatási kritériumaiból kiindulva meghatározza, hogy az említett két szakterülethez képest várhatóan eltéréseket mutató szakterületen, milyen adottságú és előzetes felkészültségű szakemberekből válhat UAV személyzet.

A vizsgálat fókuszában a fizikai, pszichikai, egészségügyi feltételek meghatározása áll. Ezt a feladatot a kutatásban humán kineziológus, belgyógyász repülő szakorvos, repülő szakpszichológus munkája támogatja.

### **UAV alkalmazás humán tényezői**

A pilótánélküli repülés fejlődése során megfigyelhető, hogy az UAV alkalmazás köre tágul, ezen belül pedig egyre nagyobb szerepet kap az állami célú felhasználás. A katonai alkalmazás mellett, egyre inkább előtérbe kerülnek a rendészeti, határőrizeti, titkosszolgálati, katasztrófavédelmi és egyéb népgazdasági feladatok egy részének ilyen módon való megoldása. Azok a feladatok, amelyek a hagyományos pilótás repülés keretei között nagy nehézségekkel, vagy

gazdaságtalanul oldhatók meg, UAV alkalmazásával leegyszerűsödhetnek, ez pedig a pilótás repüléssel szemben vonzó alternatívát jelent.

Humán szempontból a dolog érdekességét az alkalmazás sokszínűsége adja. Feltételezzük, hogy a sokféle állami alkalmazás, az UAV eszközök specializációja és komplexitása, valamint az támogatott tevékenységek eltérő felhasználási módszerek, eltérő felkészültségű személyzetet kívánnak meg. A kutatás ezért vizsgálja, hogy az UAV katonai (NATO), rendészeti, valamint a katasztrófavédelmi felhasználási formái milyen típusú, milyen számú, milyen képzettségű személyzetet kívánnak meg. A kiemelt kutatási terület kutatói között ezért mindhárom szakterületről (katonai, rendészeti, katasztrófavédelmi) találunk szakértőket.

### **UAV személyzet CRM<sup>4</sup> elveinek kidolgozása**

A hagyományos pilótás repülés emberi tényezőinek felderítése és fejlesztése folyamatos a repülés kezdete óta. Az emberi tűrőképesség, és fizikai valamint pszichikai teljesítmény felmérése nagyban hozzájárul a repülés leggyengébb láncszemeként számon tartott ember, repüléssel kapcsolatos tevékenységének biztonságosabbá tételéhez. Az ember és a gép együttműködése során megvalósuló repülés annál biztonságosabb, minél jobb és kifinomultabb a kapcsolat és az információ áramlás a két tényező (ember-gép) között<sup>5</sup>. Ugyanez igaz a légi jármű személyzet tagjainak együttműködésére is, ún. többpilótás légi jármű esetében. Ha az UAV-ot vizsgáljuk ebből a szempontból, tehát a személyzet optimális működésének szempontjából megállapíthatjuk, hogy valószínűleg hasonló, de a távirányítású alkalmazás miatt specifikus sajátosságok felderítésére számíthatunk a kutatás folyamán. Az emberi tényező ilyen szempontok szerinti vizsgálata újdonság a szakterületen, hiszen a humán faktor illetőleg a CRM elveit teljességgel és kizárólag a pilótás repülésre dolgozták ki és rögzítették szabályzóban<sup>6</sup>. A kiemelt kutatás terület tudományos vizsgálata tehát az ún. egyoperátoros és többfős személyzetű UAV esetében várhatóan egyedülálló eredményeket szolgáltat majd, hiszen a kutatás nem csupán az elméleti oldalra támaszkodik majd, hanem a szimulátoros és gyakorlati UAV repülések tapasztalataira is.

### **UAV személyzet hatósági engedélyezésének kérdései**

A légi jármű személyzete ún. szakszolgálati engedély birtokában gyakorolhatja a repülési tevékenység azon ágazatát, melyre az engedély feljogosítja. Az engedély megszerzése többlépcsős folyamat. Tekintettel arra, hogy az UAV a légtérrel felhasználja és a legtöbb az állami célú felhasználás esetén légi járműnek minősül logikusnak látszik, szakmailag és repülésbiztonsági szempontból pedig egyértelműen igazolható, hogy az azt irányító UAV pilóta hasonló engedéllyel rendelkezzen, mint a hagyományos légi járművet repülő társai. Ennek ellenére a jogi szabályozás illetve a repülési szabályok csak nagyon lassan követik azt a változást, amit az UAV terjedése a repülésben kivált. A világ egy részében bár létezik a gyakorlat, hogy pilótánélküli repülés személyzete valamilyen más, hagyományos pilóta engedély birtokában repülhet az UAV-t, átfogó szabályozás ebben a vonatkozásban még nem született. A kutatás célja az, hogy a kutatási ciklus végére meghatározza az UAV személyzet számára az alkal-

<sup>4</sup> Crew Resource Management

<sup>5</sup> EDWARDS, Elwyn.: Human factors in aviation,

<sup>6</sup> ICAO Doc 9683 - Human Factors Training Manual

massági, képzési bemeneti, elméleti és gyakorlati képzési, valamint engedélyezési kritériumokat. A felvállalt feladat abban egyedülálló, hogy teljes egészében az UAV sajátosságaihoz igazodó módon kívánja meghatározni az említett feltételeket.

## ÖSSZEGEZÉS

Az UAV terjedése, illetőleg a hagyományos pilótás légi járművekkel történő együttes alkalmazása egy sor kérdést vet fel, melyek megválaszolása sürgető feladat. A légiközlekedés biztonság fenntartása érdekében már a közeli jövőben szükséges lesz a pilótánélküli repülés elméleti és szabálybeli tényezőinek felderítésére és egy átfogó szabályrendszer kidolgozására. A TÁMOP-4.2.1. B-11/2/KMR-2011-0001 számú „*Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások*” című pályázat keretében, kutatás indult „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata címmel, mely megkísérel választ adni az UAV alkalmazás emberi tényezőit érintő kérdésekre. A kutatás fókuszában az UAV pilóták alkalmassági, kiválogatási, képzési sajátosságainak felderítése, és a repülés humán tényezőinek, illetőleg azoknak UAV specifikus elemeknek a kidolgozása áll, melyek megismerése által a légiközlekedés biztonsága növelhető.

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „*Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások*” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] EDWARDS, Elwyn: Human factors in aviation, Introductory overview Academic press, INC. London, 1988. ISBN 0 12 750030 8; 78. o.
- [2] ICAO Doc 9683 - Human Factors Training Manual
- [3] TÁMOP-4.2.1. B-11/2/KMR-2011-0001 számú „*Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások*” pályázati anyag



Gőzse István<sup>1</sup>

## AUTOMATIKUS KISMÉRETŰ KOAXIÁLIS HELIKOPTER FEDÉLZETI ELEKTRONIKÁJÁNAK FEJLESZTÉSE<sup>2</sup>

*A cikk egy vezető nélküli helikopterekkel foglalkozó kísérleti platform egyik elemét - magát a helikoptert - tárgyalja részletesen, ezen tesztrendszer eredeti rendeltetése, hogy megvalósítson kooperatív szabályozást vezető nélküli helikopterekkel. A fő motivációja ilyen berendezések kiépítésének, hogy az automatikus vezetőnélküli járművekhez alkalmazott szabályzási algoritmusok fejlesztéséhez szükséges, hogy ezen algoritmusok a valós életben is tesztelhetőek legyenek. A valós körülményeket célszerűen kiépített, olcsóbb laboratóriumi platformokon érdemes szimulálni. Önmagában a tárgyalt kísérleti tesztrendszer nagyon sok elemet tartalmaz (pozícionáló rendszer, kommunikációs hálózat, központi számítógép, stb.). A cikk vázlatosan bemutatja a teljes rendszert, majd részletesen kitér magára a koaxiális helikopter fedélzeti elektronikájára.*

### **DEVELOPMENT OF THE ON-BOARD ELECTRONICS OF A SMALL AUTONOMOUS COAXIAL HELICOPTER**

*The paper aims to present a key element of a test platform, the main objective of which is the cooperative control of small coaxial helicopter models. This key element is the coaxial helicopter itself. The main motivation of the development of autonomous aerial vehicle test platform is that the control algorithms of the vehicles have to be tested in real life and a cheap safe test environment seems to be a practical choice for that task. The discussed test platform contains several elements e.g. a positioning system, communication links, a ground station computer etc. The paper gives an overview on the whole test system and after that the detailed description of the on-board electronics is presented.*

## BEVEZETÉS

Az automatikus járművek kutatása egyre nagyobb és nagyobb figyelmet kap. Rengeteg kutatóközpont foglalkozik légi, földi, vízi és víz alatti vezető nélküli járművek fejlesztésével, a téma fontosságát jelzi, hogy az ezzel kapcsolatos publikációk száma megsokszorozódott az elmúlt néhány évtizedben. A cikk egy vezető nélküli helikopterekkel foglalkozó kísérleti platform egyik elemét - magát a helikoptert- tárgyalja részletesen, ezen tesztrendszer eredeti rendeltetése, hogy megvalósítson kooperatív szabályozását vezető nélküli helikopterekkel.

Alapvető motivációja a kisméretű vezető nélküli légi járművek (UAV) fejlesztésének, hogy rengeteg felderítő feladatra alkalmasam, melyek adott esetben egy ember számára veszélyes, vagy lehetetlen volna. Ilyen feladat lehet például mobil ideiglenes biztonsági kamerák alkalmazása, az UAV fedélzetén elhelyezett kamera képes megfigyelni olyan helyeket ahol nincs telepített biztonsági kamera rendszer például egy nagyobb tömegrendezvényen. További felhasználási terület

<sup>1</sup> MTA SZTAKI Rendszer és Irányításelméleti Kutatólaboratórium email: gozse@sztaki.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

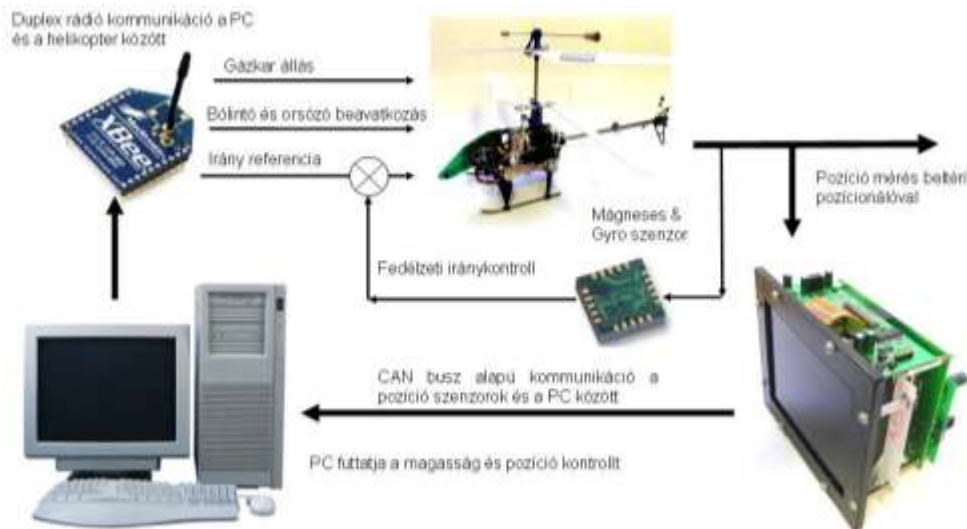
lehet keresési mentési feladatok ellátása. A kisméretű vezetől nélküli helikopterek képesek lehetnek földrengéskor megrongálódott házak belsejében felkutatni az esetleges túlélőket, vagy ehhez hasonló feladat, hogy még felfedezetlen barlangjáratok feltérképezésében is alkalmazhatóak. Esetleg veszélyes ipari környezetben (Pl.:atomerőmű) belsejében történő megfigyelések esetén is bevethetőek. Természetesen ezen felül a katonai felhasználás is megemlíthető[2].

A fő motivációja egy teljes (kisméretű) helikopter teszrendszer kiépítésének, hogy az automatikus vezetől nélküli járművekhez alkalmazott szabályzási algoritmusok fejlesztéséhez szükséges, hogy ezen algoritmusok a valós életben is tesztelhetőek legyenek. A valós körülményeket célszerűen kiépített, olcsóbb laboratóriumi platformokon érdemes szimulálni. Az így gyűjtött tapasztalatok nagyban hozzájárulhatnak a tényleges alkalmazások kifejlesztéséhez.

Önmagában a tárgyalt kísérleti teszrendszer nagyon sok elemet tartalmaz (pozicionáló rendszer, kommunikációs hálózat, központi számítógép, stb.), melyekről a következőkben egy rövid áttekintésre kerül sor.

## A TELJES RENDSZER ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

Egy szabályzási algoritmusokat tesztelő berendezés azon túl, hogy tartalmazza a szabályozni kívánt objektumot elengedhetetlen része a megfelelő mérő és beavatkozó szervek, kontroll algoritmust futtató eszköz, valamint nem elhanyagolható feladat hárul az egyes jeleket továbbító kommunikációs rendszerre. A teljes rendszer vázlatát az 1. ábra mutatja:



1. ábra teljes rendszer általános struktúrája

A következőkben sorra röviden bemutatásra kerülnek az egyes elemei a rendszernek.

## Helikopter

Jelen esetben a szabályozni kívánt objektum, ahogy az fentebb említésre került egy koaxiális modell helikopter. A helikopter típusa Walkera 5#10, mely egy beltéri reptetésre szánt modell 340 mm-es rotorátmérővel és 200 g körüli felszálló tömeggel rendelkezik. A helikopter kiválasztása egy nagyon lényeges pontja volt a teljes rendszer kiépítésének. Természetesen túl kicsiny helikopter esetén a fedélzetre kerülő plusz elektronika nem fért volna el, túl nagy helikopter pedig csak kültérben lenne tesztelhető. Fontos szempont volt továbbá, hogy miért koaxiális kialakítású modellre esett a választás, ennek fő oka, hogy elsodródásra kevésbé hajlamos, mint az egyrotoros helikopterek vagy a quadrotorok [3], ezt a tulajdonságát kombinálva egy megfelelő függőleges tengely körüli stabilizáló szabályzóval a fejlesztést nagyban megkönnyíthető. További szempont volt, hogy a választandó helikopter minden alkatrésze pótolható legyen. Természetesen a tesztelések kezdeti szakaszában várhatóak sérülések ezért az alkatrészek pótolhatósága alapvetően fontos.

## Rendszer központi számítógépe

Mivel a teljes rendszer célja szabályzási algoritmusok tesztelése, ezért a szükséges számítások elvégzésére egy PC került alkalmazásra. A szabályzási algoritmusokat a központi számítógép futtatja ennek az az előnye, hogy nagyon hatékony fejlesztőeszközök állnak a rendelkezésre PC-s környezetben. Természetesen a hátránya hogy későbbiekben az algoritmusokat a fedélzeti mikrovezérlőn is implementálni kell, azonban ha a célunk, az hogy az egyes szabályzási módszereket vizsgáljuk akkor ennek nincs jelentősége.

## Pozicionáló rendszer

A pozicionálásra képmegjelenítő elvet alkalmazó rendszer került beépítésre. Az előnye, hogy nagy megbízhatósággal képes a helikopteren elhelyezett LED markert felismerni. Valamint elérhető áron megépíthető.

## Kommunikációs berendezések

A pozicionáló rendszer a központi számítógéppel CAN buszon keresztül csatlakozik. A CAN busz alkalmazását indokolhatja, hogy nagy megbízhatóság mellett képes üzemelni, így szabályzáshoz elengedhetetlen pozíció adatok várhatóan rendelkezésre állnak. Kétségtelen hátránya, hogy a nagyobb mennyiségű adatok gyors átvitelére nem alkalmas, így például a pozicionáló rendszer alacsony szintű mérései nem vihetők át a központi számítógépbe. Hátrányként említhető még, hogy az adatok megérkezési ideje kérdéses az arbitrációs folyamat miatt. Mindezek ellenére a könnyű kezelhetősége és a megbízható működése miatt a feladatát jól ellátja.

A helikopter és a központi számítógép közötti kommunikációt XBEE modulok valósítják meg. Ez a 2,4 GHz –es nyílt sávot alkalmazó eszköz nagyban megkönnyíti a fejlesztést, mivel a forgalmazandó adatok mennyiségéhez képest viszonylag gyors kommunikációt tesz lehetővé, valamint egyszerű soros vonalon lehet magával az XBEE eszközzel kommunikálni.

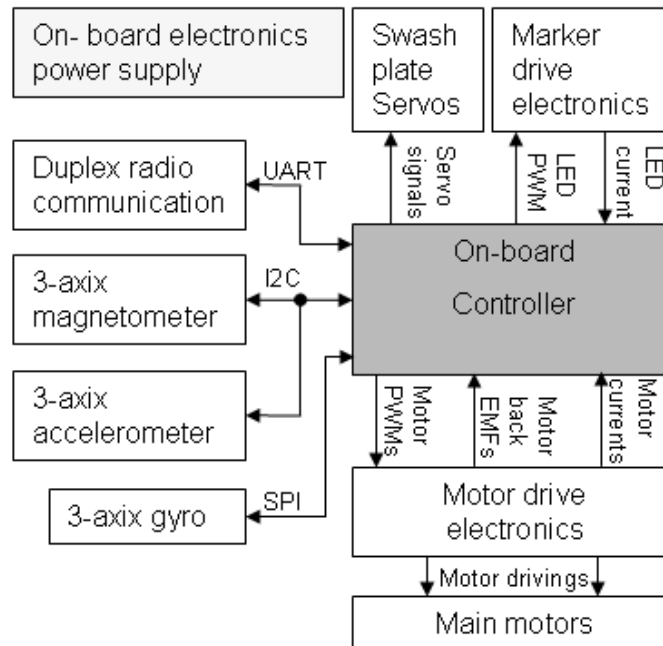
Az így összeállított kommunikációs rendszer alkalmas automatikus helikopterrel való kísérletek elvégzésére. A következő szakaszban a helikopteren megvalósított fedélzeti elektronika kerül bemutatásra.

### Fedélzeti elektronika

A fedélzeti elektronika célja hogy az eredeti elektronika minden elektronikus elemét kiváltsa így biztosítva teljes hozzáférést a beavatkozó szervekhez, vagyis a rotorokat forgató motorokhoz és az imbolygó tárcsát mozgató szervó motorokhoz, valamint az automatikus repüléshez szükséges szenzorokat is tartalmaznia kell. A következőkben a fedélzeten elhelyezett az automatikus repüléshez szükséges mérő és beavatkozó szervek bemutatására kerül sor, melyek:

- 3 tengelyű magnetométer;
- 3 tengelyű gyorsulásmérő;
- 3 tengelyű giroszkóp;
- fő motorokat meghajtó teljesítményelektronika;
- a fő motorok szenzorrendszere;
- fedélzeti mikrokontroller;
- tápellátás áramkörök;
- pozícionáló rendszerhez szükséges LED-meghajtó áramkör;

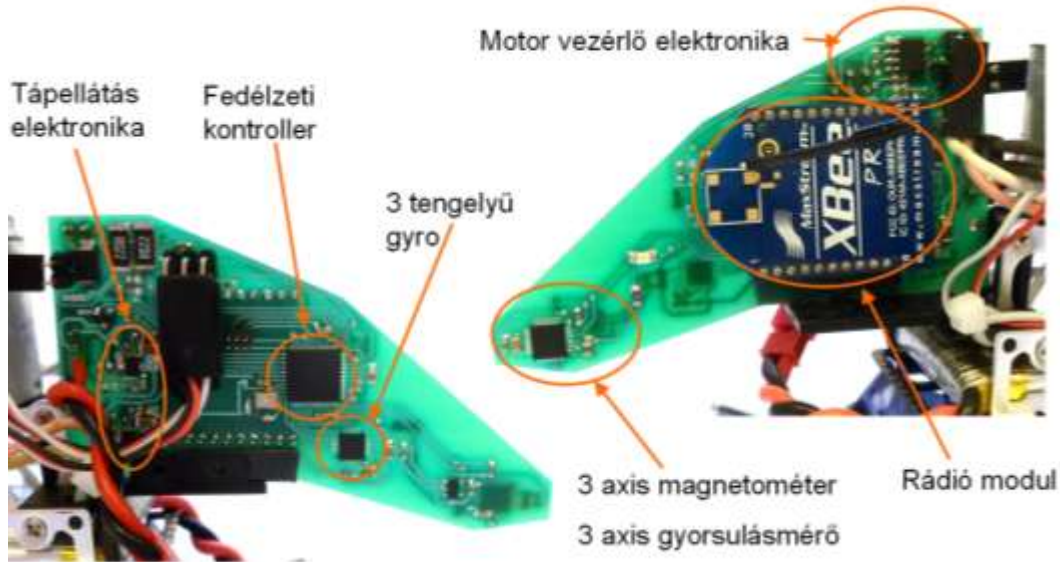
Mindezen egységeket egy olyan elektronikai panelen kellett realizálni, aminek méret és súlykorlátja van, tekintve, hogy a felhasznált helikopter nem képes a saját, eredeti elektronikájánál lényegesen nehezebb terhek felemelésére. Tekintsük a fedélzeti elektronika egyszerűsített blokkvázlatát:



2. ábra fedélzeti elektronika blokkvázlata



A blokkvázlat segítségével átláthatóvá válik az egyes egységek szerepe és kapcsolata. A teljes rendszer központi eleme a fedélzeti mikrovezérlő, amelyhez kapcsolódnak a szenzorok és a beavatkozók, minden további művelet szoftveresen hajtódik végre. Ez az elrendezés általános, nagy előnye hogy a szoftveren múlik a működés, ami rendkívül rugalmassá teszi a fejlesztést. A következő ábrán az elkészült és beszerelt elektronika látható, valamint minden részegység bejelölésre került.



3. ábra Az elkészült fedélzeti elektronika

### *Fedélzeti mikrokontroller*

A szenzorok adatainak begyűjtését az irányító jelek fogadását és a beavatkozó szervek kezelését végzi. Kiválasztásának főbb szempontjai: kis lábszámú tokozásban elérhető legyen, megfelelő számítási kapacitással rendelkezzen, tartalmazza azokat a kommunikációs perifériákat, amik a szenzorokhoz és az aktuátorokhoz illeszkednek. A választott kontroller egy dsPIC33FJ128MC804 –I/ML [5]. A mikrovezérlő számítási kapacitását megbecsülhetjük onnan, hogy 40 MIPS művelet elvégzési sebességgel rendelkezik, ez várhatóan a további fejlesztések során is elegendőnek bizonyul, főleg ha figyelembe vesszük, hogy rendelkezik egy beépített Signal Processing Engine-el ami a szenzorjelek digitális szűrését nagyban meggyorsítja. A méretei szintén alkalmasak a feladatra hiszen a használt QFN tokozás mindösszesen 8x8 mm-es. A rajta lévő perifériák száma a lábszámhoz képest meglehetősen nagy képes kiszolgálni minden a rendszerben megtalálható eszközt. Külön előnyt jelent, hogy rendelkezik az ún. peripheral remapping tulajdonsággal, ami a NYÁK tervezését nagyban megkönnyíti, azonban a könnyű tervezhetőségnél sokkal fontosabb, hogy ezáltal a végleges NYÁK mérete csökkenthető mivel nincs szükség az összeköttetések lábkiosztáshoz való hozzáigazítására.

### **3 tengelyű magnetométer, 3 tengelyű gyorsulásmérő, 3 tengelyű giroszkóp**

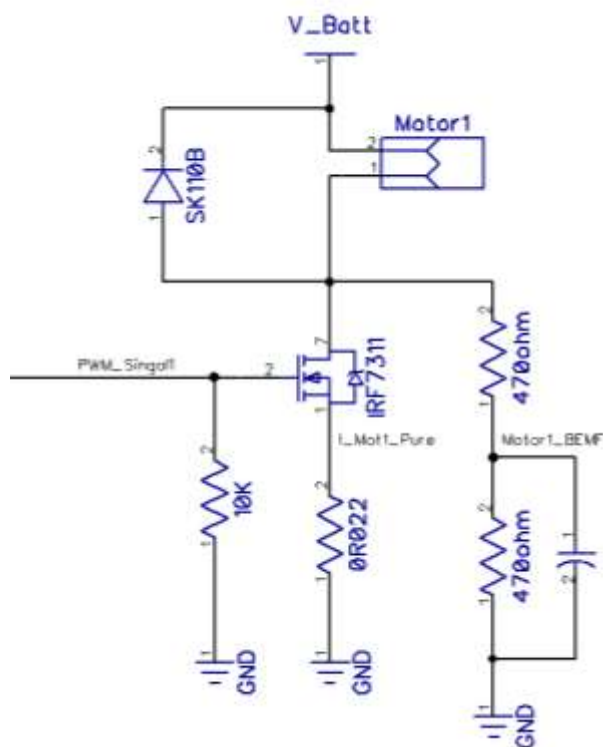
Természetesen az automatikus repüléshez elengedhetetlen a megfelelő inerciális mérőrendszer. Mivel a méret jelen esetben rendkívül kritikus ezért célszerűen az elérhető legkompaktabb szen-

zorokat kell használni. Jelenleg az inerciális érzékelők óriási ütemben fejlődnek és lényegében ez a gyors fejlődés tette lehetővé, hogy ilyen kis méretben realizálni tudjunk inerciális mérő egységet. A tervezés fázisában az elérhető legkisebb megoldásnak a LSM303DLM [6] és L3G4200D [7] STMicroelectronics által gyártott szenzorok együttese kínálta. Az LSM303DLM egy tokba integrált 3 tengelyű magnetométer és 3 tengelyű gyorsulásmérő, ami nagyban csökkenti a helyigényt, mivel ez a 6 szabadságfokú szenzor csupán 5x5 mm. Digitális I2C buszon kommunikál és belső regiszterei révén nagymértékben konfigurálható, ideális kisméretű eszközökre. Az L3G4200D egy digitális kimenettel rendelkező 3 tengelyű giroszkóp rendkívül kicsiny tokozásban mindössze 4x4 mm, szintén rendelkezik belső regiszterekkel, melyekkel a működési módja megválasztható.

Ezen két szenzor kombinációja minden szükséges inerciális mérést képes elvégezni.

### Fő motorokat meghajtó teljesítményelektronika és a fő motorok szenzorrendszere

A rotorokat meghajtó motorok kefések egyenáramú motorok tehát szükséges teljesítmény elektronika viszonylag egyszerűen kivitelezhető (4. ábra).



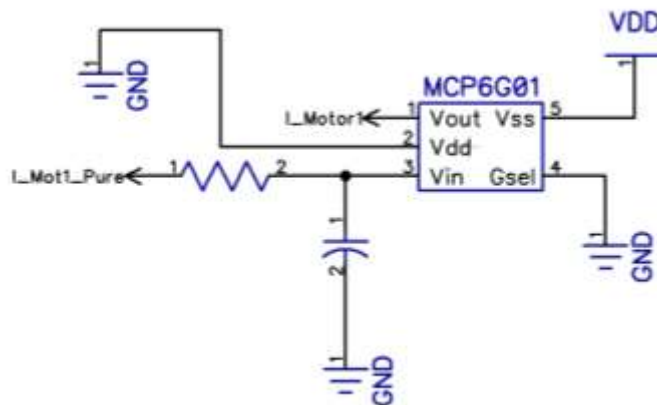
4. ábra fő motorokat meghajtó teljesítményelektronika

A Motor1 csatlakozóra kötött motort az IRF7311[8] jelű dual MOSFET egyik tranzisztora vezérli. A vezérlést a mikrokontrollerből jövő impulzus szélesség modulált jel határozza meg. Természetesen a motorral párhuzamosan egy SK110B[9] védő dióda került beszerelésre, ami a tranzisztort védi a túlfeszültségtől. Még egy fontos biztonsági eleme a meghajtó elektronikának a FET gate-jére

kötött lehúzó ellenállás. A 10 K $\Omega$ -os ellenállás bekapcsoláskor zárt állapotba tartja tranzisztort egészen addig, amíg a mikrovezérlő inicializálja a motor meghajtására használt perifériáját.

Lényegében a motor megforgatásához és vezérléséhez elegendő lenne a fentebb említett néhány alkatrész, azonban ahhoz, hogy a motor egyes jellemzőit mérni tudjuk további elemek felhasználása szükséges. A motor fordulatszámaival arányos jellemző az un. BEMF feszültség melynek mérésére az impulzusszélesség modulált vezérlő jel kikapcsolt állapotában van lehetőség. Tekintve, hogy a motorok a nyers akkumulátor feszültségről üzemelnek a mikrokontrollerbe visszavezetett analóg MOTOR\_BEMF jel előállítására egy 470-470 $\Omega$ -os ellenállás osztó került alkalmazásra, illetve még egy szűrő kondenzátor. A motor fordulatszámának mérése fontos lehet, hiszen a motorok fordulatszámának ismerete a rotorok fordulatszámának ismeretét is jelenti.

További fontos jellemző a motorok által leadott nyomaték mivel a koaxiális helikopterek a két rotor nyomatékegyensúlyának segítségével tartják az irányukat. Az egyenáramú kefések motorok által leadott nyomaték arányos a rajtuk átfolyó árammal. Az átfolyó áram mérésére nagyon sok megoldás létezik, azonban jelen esetben aligha jöhet szóba más, mint a söntellenállásos mérési elv, mivel ennek a legkisebb a helyigénye. A választott ellenállás 0.022  $\Omega$  és a várható legnagyobb áramerősség kb. 6 A. Tekintve, hogy a nagy söntellenállás csökkenti a repülési időt ezért a lehető legkisebb értéket érdemes választani, amin üzemi körülmények között eső feszültség még nagy erősítés alkalmazását nem igényli. Az üzemi áram 3 A körül mozog tehát tízszeres erősítést alkalmazva 0.66 V-os hasznos jelet lehet előállítani, ami egy 12 bites 3,3 V-os tápról működő A/D átalakítót feltételezve kb. 800 egységnyi felbontást eredményez, tehát feltételezhetjük, hogy a teljes üzemi tartományt 9 bit felbontással le tudjuk fedni, ami kielégítő pontosság. Az erősítő áramkör egy választható erősítésű erősítő, melynek típusa MCP6G01[10] tízszeres erősítésre konfigurálva. Az erősítő áramkör:



5. ábra erősítő fokozat motorok áram méréséhez

Az I\_Mot1\_Pure a motor felől érkező nyers analóg jel, ami először egy RC-szűrőn halad át, majd utána kerül felerősítésre.

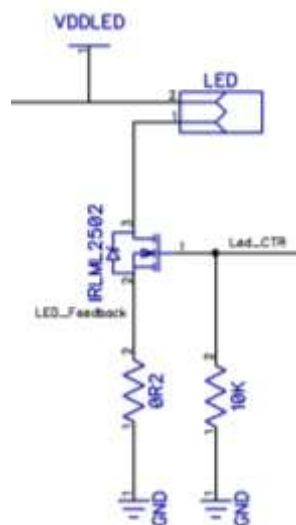
## Pozícionáló rendszerhez szükséges LED meghajtó áramkör

A képmegjelenítő elven működő pozícionáló rendszerhez szükséges egy nagyteljesítményű megadott frekvencián (kb. 10 kHz) villogó LED, amely maga a marker, amit a pozícionáló rendszer képes detektálni. A villogásra további megkötés hogy 50%-os kitöltési tényezővel rendelkezzen. A probléma a nagyteljesítményű LED meghajtásával, hogy ahhoz hogy megfelelően működjenek a rajtuk átfolyó áramot szabályozott módon kell adott értéken tartani különben a LED élettartama jelentősen lecsökkenhet vagy akár azonnal tönkre is mehet.

Kézenfekvő megoldás hogy a LED a nyers tápról kapja a táplálást és impulzus szélesség modulált meghajtást alkalmazunk ahol a szélességet úgy állítjuk be, hogy a bekapcsolt állapotban mérhető áram a teljes periódus idejére nézve átlagosan a megkívánt áram értéket eredményezze. Mivel a frekvencia elegendően nagy így az átmeneti túláram nem okoz problémát. Az így kialakított áramszabályozott rendszer azonban nem biztosít 50%-os kitöltési tényezőt.

A probléma megoldása lehet, hogy a LED-et nem a nyers tápról működtetjük hanem stabilizált feszültségről még hozzá olyanról, ami illeszkedik a LED üzemi körülményeihez és független a többi elektronikai elem tápjától, mivel a ki-be kapcsolás nagy tranzienseket okozhatna. Kézenfekvőnek tűnik ez a megoldás, azonban figyelembe kell vennünk, hogy az alkalmazott LED üzemi feszültsége 2,8 V az üzemi árama pedig 0.5A tehát ha csak kapcsoló üzemi táplálás jöhet számításban mivel a helikopter egycellás LiPo akkumulátorral működik aminek a feltöltött feszültsége 4,2 V tehát ha nem kapcsolóüzemű tápot alkalmazunk, akkor rendkívül sok energiát veszítünk ami csökkenti a repülési időt. A táp megoldásról később részletesen szó esik. További probléma hogy a fix feszültségű táplálás nem kompenzálja a LED nyitóirányú karakterisztikájának hőmérséklet függését, ami nagyteljesítményű LED-ek esetében fontos.

Ezen megfontolások alapján a megvalósított rendszer a fenti két megoldás ötvözetét alkalmazza. A kapcsolási rajza:



6. ábra LED meghajtó áramkör



A VDDLED egy kapcsolóüzemű táp által előállított 2,8 V-os stabilizált tápfeszültség. A LED-en átfolyó áram egy 0,2  $\Omega$ -os sőtellenálláson folyik, aminek segítségével az átfolyt áram impulzus-  
szélesség modulációval hőmérséklet tekintetében kompenzálható. Az így kapott jel szintén nem lesz 50%-os kitöltési tényezőjű, de megközelíti annyira, hogy az eltérés már nem jelentős, így a marker meghajtása megvalósítható. Természetesen a kapcsoló FET gate-jére kötött lehúzó ellenállás a véletlen bekapcsolás ellen véd.

### Táp áramkör

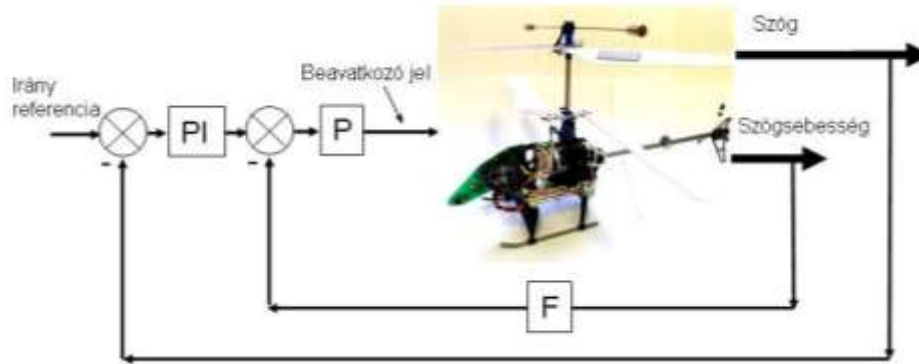
A helikopter alapvetően egycellás LiPo akkumulátorról működik, mivel a motorokat és a rotorokat erre a feszültségre optimalizálták ezért az egycellás konstrukciót érdemes megtartani. A problémát az jelenti, hogy a cellafeszültség 4,2-2,7 V között mozog, és az alkalmazni kívánt alkatrészek többsége 3,3 V-os tápfeszültségről üzemel. Tehát csak kapcsolóüzemű áramkör jöhet szóba. A választott feszültség stabilizátor az LTC3538EDCB [11] Linear Technology gyártmányú un. Buck-Boost típusú stabilizátor. Buck-Boost azt jelenti, hogy a bemeneti és kimeneti feszültségekhez igazítja a működését és attól függően, hogy a bemeneten kisebb vagy nagyobb mint a stabilizálni kívánt kimenet más-más üzemmódba kapcsol. Ez a DC-DC konverter alkalmas 800 mA kimeneti áram biztosítására és 5,5-2,2V bemeneti feszültségtartományon képes stabil 3,3 V tápfeszültséget biztosítani.

Fontos hogy kettő LTC3538EDCB alapú táp IC került alkalmazásra az egyik a LED marker meghajtására a fentebb említett okok miatt, a másik viszont az összes többi elektronikus elem tápját szolgáltatja, így a mikrokontrollerét a szenzorokét és a rádiós modulét.

A tápellátáshoz hozzá tartozik egy 1,8V-os TC1054-es [12] stabilizátor IC, melyre a mágneses érzékelőnek van szüksége.

### *A fedélzeti szoftver*

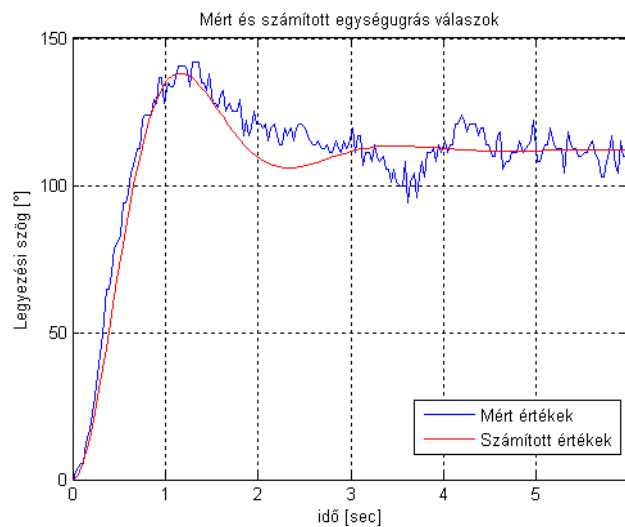
Önmagában fedélzeti szoftver meglehetősen egyértelmű szerkezettel rendelkezik az iránystabilizálást biztosító részén kívül. A fő feladata az, hogy az egyes szenzorok jeleit kiolvassa a rádióan érkező utasításokat végrehajtsa. Ezen program részletek különösebb magyarázaton nem igényelnek. Érdemes viszont az iránystabilizálás kérdését részletesebben tárgyalni. Tekintsük a 7. ábrán a szabályzási bloksémáját a rendszernek. A helikopternek, mint rendszernek a függőleges tengelyű mozgás szempontjából két kimenete mért, az egyik a szögsebesség, melyet a felszerelt giroszkóp mér, a másik pedig a tényleges azimuth szög amelyet az alkalmazott mágneses érzékelő, mint iránytű határoz meg.



7. ábra a függőleges tengely körüli szabályzó blokksémája

A szabályzási blokksémából szembetűnő hogy kaszkád szabályzás kialakítására került sor. A kaszkád szabályzásban a belső hurok lényegesen gyorsabb mintavételi idővel (3 msec) rendelkezik, mint a külső hurok (30 msec) ennek oka, hogy a szögsebességet mérő giroszkópok lényegesen magasabb mintavételi sebességgel képesek üzemelni, mint a szöget mérő mágneses szenzor. Ugyanakkor ez a megoldás a kisméretű helikopterek gyors függőleges tengely körüli dinamikája miatt elterjedt[1]. A belső hurok visszacsatolásában még található egy „F” jelű szűrő is, amely a giroszkóp kimeneti jelében megjelenő mechanikus rezgések okozta zajt hivatott kiszűrni. A külső hurok a belsővel ellentétben nem csak arányos „P” jellegű, ahogyan az az ábrán is látható, hanem arányos integráló „PI” jellegű, ugyanis a megadott szög referenciajel követést a giroszkóp offsetje miatt így lehet biztosítani [4]. A fenti szabályzó- és szűrőparaméterek megválasztása biztosítja a függőleges tengely körüli stabilitást.

A 8. ábra A zárt rendszer  $110^\circ$ -os egységugrása adott válaszaműködtettünk a legyezési szög bemenetre egy  $110^\circ$ -os egységugrást miközben a helikopter függeszkedett. A mérési eredmények mellett látható egy szimulált válaszfüggvény is amely a helikopter egyszerűsített modelljéből került kiszámításra.



8. ábra A zárt rendszer  $110^\circ$ -os egységugrása adott válasza



Tapasztalhatóak kisebb eltérések melyek visszavezethetők a mérési zajokra, valamint a fentebb említett egyszerűsítő feltételek okozta hibákra.

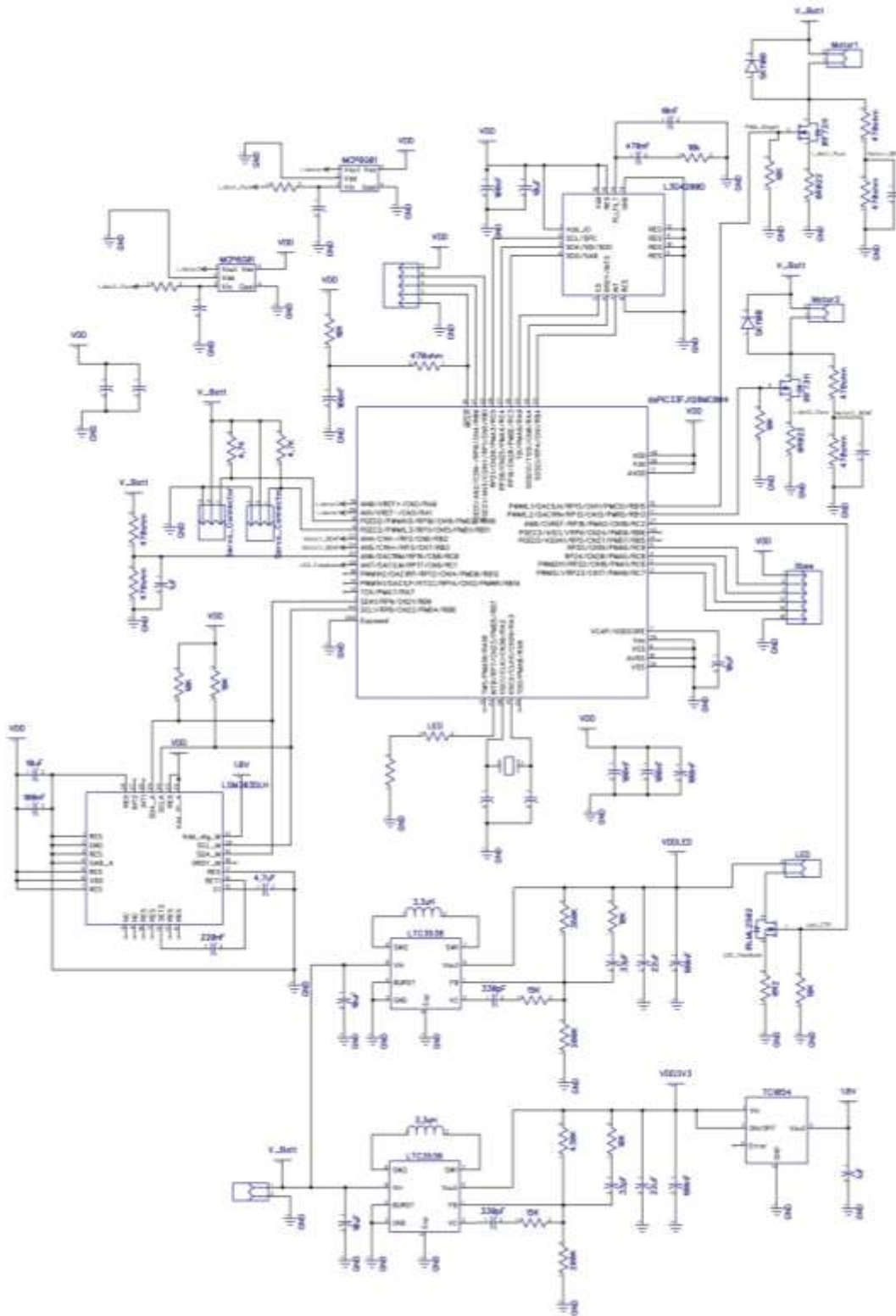
Látható hogy 25%-os túllövással áll be a helikopter, ami elfogadhatónak mondható. A rendszert tovább gyorsítani nem érdemes, mert egyrészt a túllövés mértéke nő másrészt pedig az aktuálisan nagyobb nyomatékkal dolgozó motorokon a kapocsfeszültség elérheti a maximális értéket.

## ÖSSZEGZÉS

A kialakított elektronika segítségével a helikopter képes távirányítással repülni, tehát az eredeti elektronika funkcionalitását képes reprodukálni, azonban a kezdeti állapothoz képest jelenleg minden beavatkozó szervhez közvetlenül saját szoftveren keresztül tudunk hozzáférni vagyis az igényeknek megfelelően lehet az alap funkcionalitást hangolni. Azon túl, hogy távirányítással reptethető a térbeli irányát képes egy megadott irányszögön tartani, ami elengedhetetlen az autonóm működés során. Végezetül a helikopter, az automatikus repüléséhez szükséges utolsó lépést is teljesíti, mégpedig képes, a beltéri pozicionáló rendszer segítségével a saját térbeli pozícióját meghatározni.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Nomani K., Kendoul F., Suzuki S., Wang W., Nakazawa D., Autonomous Flying Robots Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles, Springer,2010
- [2] Christian BERMES, Design and dynamic modeling of autonomous coaxial micro helicopters, degree of Doctor of Sciences, ETH ZÜRICH,2010
- [3] Chen. L and McKerrow, P, Modelling the Lama Coaxial Helicopter, in Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation, Brisbane, 2007
- [4] BOKOR József, GÁSPÁR Péter , Irányítástechnika járműdinamikai alkalmazásokkal, Typotex, 2008
- [5] dsPIC33FJ128MC804-I/ML Datasheet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70292F.pdf> (2011.09.12.)
- [6] LSM303DLM Datasheet [http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/D00026454.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/D00026454.pdf) (2011.09.12.)
- [7] L3G4200D Datasheet [http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/C000265057.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/C000265057.pdf) (2011.09.12.)
- [8] IRF7311 Datasheet <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf7311.pdf> (2011.09.12.)
- [9] SK110B Datasheet <http://www.datasheetarchive.com/SK110B-datasheet.html> (2011.09.12.)
- [10] MCP6G01 Datasheet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22004b.pdf> (2011.09.12.)
- [11] LTC3538EDCB Datasheet <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/3538fb.pdf> (2011.09.12.)
- [12] TC1054 Datasheet <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21350d.pdf> (2011.09.12.)



A teljes elektronika kapcsolási rajza



Halászné dr. Tóth Alexandra<sup>1</sup> – Somosi Vilmos<sup>2</sup> – Pongrácz Gábor<sup>3</sup>

## ESETTANULMÁNY A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK JÖVŐBENI ALKALMAZÁSA TÜKRÉBEN<sup>4</sup>

*A nemzetközi tapasztalatok és trendek alapján a pilóta nélküli légi járművek állami, gazdasági célú, illetve magánjellegű felhasználása az elkövetkezendő években várhatóan robbanásszerűen megugrik, azonban a széleskörű alkalmazás jogi keretei jelenleg hiányosak. A felhasználási területen eltérő repülőmodellek, illetve UAV-k tekintetében kialakítandó jogi szabályozás sok esetben átfedést mutathat, azonban a mindkét területre vonatkozó általános szabályozáson túl indokolt az egyes speciális szabályok kidolgozása is. Tanulmányunkban a hiányosságokra próbálunk rávilágítani a 2006. május 13-án, Ócsényben bekövetkezett repülőmodell baleset esettanulmányozásán keresztül.*

### CASE STUDY ON USAGE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN PROSPECT

*According to international experiences and trends, the state-purpose, economical, and private-purpose usage of Unmanned Aerial Vehicles will meet booming demand in the next few years, but the legal regulation of extensive usage is currently insufficient. The legal regulation to-be-developed in relation with the usage of Unmanned Aerial Vehicles and model airplanes may show overlapping areas, nevertheless it is necessary to elaborate special rules to both, in addition to the general ones. In the following study we intend to focus on these gaps in the light of the aircraft model accident in Ócsény 13<sup>th</sup> May 2006.*

## A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK

### UAV

A magyar szakirodalomban még ma sem tisztázott az a pontos fogalomrendszer, amely a légi járművek azon fajtájára vonatkozik, amelyek a fedélzeten tartózkodó irányító személyzet (pilóta) nélkül hajtják végre feladatukat. A legelterjedtebb angol kifejezés a témában az Unmanned Aerial Vehicle (a továbbiakban: UAV), amely alapvetően kizárólag magát a légi járművet foglalja magába. A földi irányító rendszereket és a személyzetet, a légi járművet, és a közöttük fennálló adatkapcsolatokat összességében Unmanned Aerial System (a továbbiakban: UAS) néven ismerhettük meg. Az UAV-k feladatukat távirányítással végrehajtó szűkebb csoportja a Remotely Piloted Aircraft (RPA).

<sup>1</sup> őrnagy, HM Tervezési és Koordinációs Főosztály – toth.alexandra@hm.gov.hu

<sup>2</sup> mk. őrnagy, HM Tervezési és Koordinációs Főosztály – somosi.vilmos@hm.gov.hu

<sup>3</sup> főhadnagy, HM Tervezési és Koordinációs Főosztály – gabor.pongracz@hm.gov.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Sipos Zoltán ezredes, légügyi osztályvezető, HM Tervezési és Koordinációs Főosztály



1. EuroHawk UAV leszállása egy német légbázison

A pilóta nélküli légi járművek alkalmazása az 1960-as években kezdődött, robbanásszerű fejlődésük pedig az 1990-es évekre tehető, elsősorban a katonai alkalmazás terén. A fegyveres erők alapvetően olyan feladatok végrehajtására alkalmazzák a pilóta nélküli eszközöket, ahol:

1. A feladat túl veszélyes, a pilóta vezette légi jármű elvesztésének kockázata meghaladja az elfogadható szintet.
2. A repülési feladat a pilóta(ák) fiziológiájából nem kivitelezhető, pl.: 24+ óra időtartamú felderítő repülés.
3. A feladat nem igényel pilóta vezette légi járművet, pl.: szárazföldi alegységek harcászati felderítése.

A biztonság mellett jelentős érv az UAV alkalmazása mellett, hogy jelentősen alacsonyabb üzemeltetési, utánpótlási, fejlesztési és képzési költségekkel tartható rendszerben, mint a pilóta vezette eszközök.

A nemzetközi szakirodalomban az UAV-k hatótávolság, tömeg és repülési magasság szerint kerülnek kategorizálásra.

Össztömeg szerinti osztályozás	Kategória	Felhasználás	Üzemelési magasság	Hatósugár	Példa
<b>I osztály</b> (<150 kg)	MICRO <2 kg	Taktikai, biztonsági (kézi indítás)	200 ft AGL	5 km	Black Widow
	MINI 2-20 kg	Taktikai, alegység szintű felhasználás (kézi indítás)	3000 ft AGL	25 km	Scan Eagle, Skylark, Raven, DH3, Aladin, Strix
	SMALL >20 kg	Taktikai (indító rendszer)	5000 ft AGL	50 km (LOS)	Luna, Hermes 90
<b>II osztály</b> (150-600 kg)	TACTICAL	Taktikai	10 000 ft AGL	200 km	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Ranger
<b>III osztály</b> (>600 kg)	MALE (medium altitude, long endurance)	Műveleti, hadszíntéri	45 000 ft MSL	Korlátlan	Predator B, Predator A, Heron, Heron TP, Hermes 900
	Strike/Combat	Stratégiai, nemzeti	65 000 ft	Korlátlan	
	HALE (high altitude, long endurance)	Stratégiai, nemzeti	65 000 ft	Korlátlan	Global Hawk

2. A NATO Joint Air Power Competence Centre szerinti UAV osztályozás

Napjainkban a katonai alkalmazásban már számtalan UAS teljesít szolgálatot, a kézből indítható kis hatótávolságú, taktikai felderítő eszközöktől (pl.: a Magyar Honvédségben is rendszerített Skylark 1) kezdve, az akár több napig tartó járőrözésre képes, nagy hatótávolságú eszközökig (pl.: Global Hawk / Euro Hawk).



3. UAV kézi indítása

A katonai alkalmazás mellett a polgári szektor is kezdi felismerni az UAV-ben rejlő számtalan, költséghatékony lehetőséget. Egyszerű példa lehet a gáz-, vagy villanyvezetékek, a mezőgazdasági területek vagy építési területek légi ellenőrzése. A fentiekhez hasonló feladatok elméletben egyszerűen megoldhatóak távirányítással, vagy előre programozott útvonalon repülő UAV alkalmazásával, amelynek a fedélzetére szerelt felderítő-megfigyelő eszközök segítségével rögzíti a szükséges fénykép és videó anyagot, vagy a rendelkezésére álló adatkapcsolat segítségével valós időben közvetíti azokat a kezelőszemélyzet részére.

A polgári célú, nem kereskedelmi felhasználású alkalmazás esetén beszélhetünk az UAS egyes állami szervezetek által történő felhasználásáról. Ezek során például a nagy kiterjedésű erdőtüzek megfékezésében létfontosságú felderítési információkkal láthatja el az UAV a tűzoltóság szakértőit. Árvízi védekezés során szintén hasznosnak bizonyulna egy olyan felderítő egység, amely alacsony költségek mellett, hosszú ideig képes a célterület légi megfigyelésére, így segítve a katasztrófavédelem munkáját. A rendvédelmi szervek munkája folyamán kiemelkedő szerepet kaphatnak a pilóta nélküli eszközök a határőrizeti, a felderítési és a megfigyelési feladatokban. A forgalmasabb utak, országutak és autópályák forgalmának ellenőrzése és megfigyelése során is versenyképes alternatívát nyújtanak az UAV-k a napjainkban használt helikopterekkel szemben.

A fenti felhasználási lehetőségekre jó példa Svájc, ahol felismerve az eszközben rejlő lehetőségeket megteremtették a szükséges szabályozói háttérrel, és az UAS-t évek óta sikerrel alkalmazzák mind az állami, mind a polgári szektorban. A rendszert sikerült úgy integrálni a meglévő ATM<sup>5</sup> rendszerbe, hogy az a repülésbiztonság meglévő szintjére gyakorolt negatív hatások nélkül működjön.

<sup>5</sup> Air Traffic Management – Légitforgalom Szervezés

## Repülőmodellek

Az állami és az üzleti felhasználás mellett a távirányítású modellrepülők megjelenésével az eszközök hobbi és sport alkalmazása is egyre népszerűbb. A modellek a felhasznált technológia fejlődésével egyre nagyobb repülési magasságot és sebességet képesek elérni, esetenként akár veszélyt is jelentve a nem ellenőrzött légtérben, alacsony repülési magasságon üzemelő légiforgalomra. A fejlett modellek repülési tulajdonságai sokszor akár meg is haladják a katonai alkalmazásban álló, alacsony kategóriás UAV-két. A szintén kereskedelmi forgalomban kapható kisméretű kamerák segítségével pedig akár megfigyelésre is használhatóak ezek az eszközök, nem beszélve a rosszindulatú – akár terrorista – felhasználásról.

Ezen eszközök beszerzése és üzemeltetése nem szakszolgálati engedélyköteles tevékenység, azonban a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (a továbbiakban: Lt.) 6. § (5) bekezdésében foglaltak alapján a légiközlekedési hatóság, az állami célú légiközlekedéssel összefüggő feladatok tekintetében a katonai légügyi hatóság engedélyével repülhet az a légi jármű, amely vezető nélküli repülésre alkalmas, továbbá a jogszabályban meghatározott repülőmodell, illetve repülőeszköz. Lakott terület felett a modellrepültetés a légiközlekedési hatóság engedélyén túlmenően csak a helyi önkormányzat által feladatkörében kiadott rendeletben kijelölt területen és feltételek mellett hajtható végre.

Sajnálatos tapasztalat, hogy a tárgybeli előírásokat a repülőmodellező társadalom sokszor figyelmen kívül hagyja, továbbá a repülőmodell forgalmazók sem hívják fel a figyelmet a jogszabályi kötelezettségekre, illetve az eszköz alkalmazásának kockázataira.

Az állami célú légiközlekedés vonatkozásában is lehetővé teszi az állami repülések céljára szolgáló kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól szóló 3/2006. (II. 6.) HM rendelet 33. §-a az ilyen eszközökkel történő repülést, habár a jogszabály a személyzet nélküli légi jármű terminológiát használja. A rendelet fogalom meghatározása alapján a személyzet nélküli légi jármű olyan eszköznek minősül, amely az indítás módjától függetlenül, repülését a fedélzeten tartózkodó személyzet nélkül hajtja végre, és újra felhasználható<sup>6</sup>. A személyzet nélküli légi járművek a feladat végrehajtása szempontjából lehetnek irányított vagy autonóm működésűek.

A jogalkotó kiköti továbbá, hogy a magyar légtérben az állami repülések céljára szolgáló légterekben kizárólag az illetékes légiforgalmi irányító egységhez eljuttatott terv alapján használható az eszköz. A személyzet nélküli légi jármű alkalmazása során további feltétel a többi légi járműtől történő IFR szabályok szerinti elkülönítés biztosítása. A repülés biztonságának növelése érdekében garanciális szabálynak tekinthető a rendelet azon előírása, miszerint az eszközt olyan berendezéssel kell ellátni, amely az irányítás megszakadása esetén automatikusan leállítja a hajtóművet (motort), és hozzájárul a leszállás biztonságos végrehajtásához.

A vonatkozó jogszabályok tanulmányozását követően megállapítható, hogy az UAV-kre és repülőmodellekre vonatkozó szabályozás az Lt.-ben történő felhatalmazó rendelkezés ellenére mind az állami, mind a polgári célú légiközlekedés területén hiányos. Kérdés egyrészt, hogy a szabályozás során hol, és hogyan húzzuk meg a határt a repülőmodell és az UAV között. Másrészt, a repülésben résztvevő egyéb eszközök, illetve személyek biztonságának garantálása hogyan biztosítható.

<sup>6</sup> Ebből adódóan ezt a kategóriát indokolt megkülönböztetni a robotrepülőgépektől, amelyek feladatuk végrehajtása során megsemmisülnek

A Nemzeti Légügyi Stratégia előkészítése során – a szakmai kidolgozók javaslatai alapján – már megfogalmazódott az igény a szakterülethez kapcsolódó fogalmak definiálására és a terület jogi szabályozására.



4. Rádió-távvezérelt modellrepülő

A terület hazai szabályozatlanságából adódóan, ma bárki megvásárolhatja a kereskedelemben kapható modelleket, anélkül, hogy tisztában lenne – vagy komolyan venné – azt a kevés szabályt is, ami ezeknek a modelleknek a repülésére vonatkozik. A modellrepülő versenyzők nem ritkán olyan repülőket használnak, amelyek sebessége meghaladhatja a 100 km/h-t, tömegük pedig több tíz kilogramm. Egy ilyen eszköz szándékosan vagy figyelmetlenségből is komoly károkat okozhat, főként, ha az irányító személy (a továbbiakban: kezelő) nem megfelelően felkészült, és nincsen tisztában a betartandó szabályokkal. Az alábbi eset bemutatja, hogy egy felkészült és gyakorlott versenyző, ellenőrzött körülmények között üzemeltetett (reptetett) modellje is képes akár több emberéletet követelő baleset előidézésére.

## A REPÜLŐMODELLEK REPÜLÉSBIZTONSÁGRA GYAKOROLT HATÁSA

### **Az őcsényi repülőtéren, 2006. május 13-án bekövetkezett baleset**

2006. május 13-án, az őcsényi repülőtéren került megrendezésre az a nemzetközi repülőmodell bemutató, amelyen egy német résztvevő PITTTS S12 típusú rádió-távírányítású műrepülő modellje irányíthatatlanná vált, majd a nézők közé csapódva két ember halálát okozta, továbbá négyen könnyebben megsérültek.



5. PITTTS 12 típusú repülőmodell

A tragédiában egy szekszárdi házaspár vesztette életét, akik felnőtt gyermekeikkel együtt vettek részt a rendezvényen. A további négy, nagy kiterjedésű zúzódásokat és hámsérüléseket

szenvedett sérültet ellátás után hazaengedték a kórházból.

A balesetet vizsgáló Közlekedésbiztonsági Szervezet (a továbbiakban: KBSZ) megállapította, hogy irányítási, műszaki vagy rádiófrekvencia-hiba (interferencia) okozhatta a szerencsétlenséget.

Egy német állampolgárságú személy (a továbbiakban: kezelő) két és félméteres fesztávolságú, 15 kilogramm tömegű és 130 köbcéntiméteres hajtóművel szerelt műrepülője zuhant a kordon mögött tartózkodó mintegy 300 néző közé, s okozta a tragédiát. Az ilyen bemutatókon használt modellek szárnyfesztávja fél métertől 3 méterig terjed, és 80-100 kilométeres óránkénti sebességgel képesek repülni, egyes csúcsmodellek 200 kilométeres óránkénti sebességre is képesek. A német résztvevő rendkívül tapasztalt bemutató pilóta, aki rendszeresen tart bemutatókat szerte a világon.

A műrepülő modellek bemutatójára két részletben került sor, egy délelőtti és egy délutáni váltásban. A szerencsétlenül járt modell mind a délelőtti, mind pedig a délutáni repülésen részt vett. A rendezvény szervezői mindkét alkalommal alkalmazták a FAI<sup>7</sup> Sportkódex negyedik fejezetében meghatározott eljárást, amely biztosítja, hogy egyazon rádiófrekvenciát egy időben kizárólag egy versenyző használhassa, így megelőzve az esetleges rádió-interferenciát. Az eljárás lényege, hogy a csatorna foglaltságot nyilvántartó táblán (pegboard), a versenyzők jelzik, hogy mely frekvenciát használják modellrepülőgépük távirányítására. Ezzel a módszerrel elméletben kivédhető a helyi rádió-interferencia, azonban a nem az eseményen résztvevő modellezők, illetve más rádió adó-vevőt használó eszközök továbbra is okozhatnak zavarokat.

A felszállást megelőzően a kezelő elvégezte a repülés előtti ellenőrzést, elhelyezte a pegboard-on a bilétáját, távirányítójával és repülőgépével a reptetők számára kijelölt helyre vonult, majd végrehajtotta a felszállást.

A bemutató program a kezelő által korábbi bemutatók céljára kifejlesztett látványos repülés volt, amely műrepülő elemekre épült. A repülés első öt perce során a kezelő a kijelölt sávban műrepülő figurákat végzett, majd a sáv végéről történő visszafordulást követően kirepült a reptető sávból, és egyre meredekebb döntéssel közelített a talaj felé. A kezelő mellett tartózkodó magyar modellező ekkor hallotta, amint a kezelő feltartott kézzel kiabálta, hogy „Störung” (zavarás). A modell repülési pályájának lejtése egyre nőtt, majd keresztezte a kordont, és magas fordulatszámon járó légcsavarral először egy, majd egy másik néző fejének ütközött, végül a talajba csapódott. A légcsavar a két néző azonnali halálát okozta, a szerterepülő roncsdarabok pedig további négy ember sérülését okozták.

A baleset kivizsgálása során megállapítást nyert, hogy a modellrepülő kezelője a reptetés során betartotta az összes vonatkozó szabályt, a modellrepülő megfelelő műszaki állapotban volt, és a rendezők is a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően szervezték meg az eseményt.

A fenti körülmények figyelembevételével az esetet vizsgáló KBSZ arra a megállapításra jutott, hogy valaki, akár egy taxis vagy CB-rádiós használta a rádió adó-vevő készülékét, esetleg egy másik, nem a repülőnapon részt vevő modellező reptetett, és ugyanazt a frekvenciát használta, mint a szerencsétlenséget okozó modellrepülőgép. A fellépő rádiófrekvenciás zavartól a modell egy időre irányíthatatlanná vált, majd ezt követően a nézők közé csapódott.

---

<sup>7</sup> The Fédération Aéronautique Internationale – Nemzetközi Repülő szövetség

Az ilyen szerencsétlen esetek következményének csökkentésére rendelkezésre áll az úgynevezett „Fail Safe” (a továbbiakban: FS) rendszer, amely rádió interferencia esetén egy előre programozott parancssort követve irányítja a modellt. Az esemény idejében alapvetően kétféle FS üzemmód volt a gyakorlatban. Az első az interferencia észlelésekor a kezelő által utoljára közvetített utasítás szerint rögzíti a kormányműveket és a gázkart, míg a második a „memóriamód”, amely során a rendszer egy – a pilóta által – előre programozott helyzetbe állítja a gázkart és a kormányműveket. Tekintettel arra, hogy semmilyen szabály nem írja elő, mely FS üzemmód a követendő, ez a döntés teljes mértékben a kezelő felelőssége. Jelen esetben a kezelő az első variációt használta, azonban sajnálatos módon az előre beállított FS üzemmódnak köszönhetően a gázkar maximum teljesítményen, a kormányművek pedig a forduló utolsó paraméterei szerint kerültek rögzítésre, így a modell kirepült a kijelölt reptető sávból, és becsapódáskor a légszár maximum teljesítményen működött.

Az eset vizsgálata során megállapítást nyert, hogy nagy valószínűséggel a baleset nem lett volna halálos kimenetelű, ha az FS egy olyan memóriakódot követ, amely szerint a rádióinterferencia fellépését követően a gázkar alaphelyzetbe kerül. Ebben az esetben a modellrepülő a felhajtóerő hiányában még a reptető sávban földet ért volna. A fenti következtetéstől függetlenül a modellrepülőgépet irányító német pilóta nem tehető felelőssé, mivel a vonatkozó szabályokat és eljárásokat maradéktalanul betartotta, az FS rendszert pedig – szabályozás hiányában – akkori legjobb tudásának megfelelően állította be.

A résztvevők elmondása szerint a balesetet megelőző délelőtti repüléseken, illetve napon megtartott gyakorlások során is tapasztaltak rádióinterferenciát, amely következtében egy másik modellrepülőgép szintén irányíthatatlanná vált. Ez az esemény nem okozott tragédiát.

Napjainkban már számos olyan modellrepülőgép kapható, mely az FS beállítás során a hajtómű teljes leállításával, egy beépített ejtőernyőt is aktivál, így az irányítás megszakadása esetén is nagy biztonsággal érhet földet az eszköz, anélkül, hogy veszélyt jelentene a környezetre. Ez a konfiguráció a modell tulajdonosnak is kedvező, mivel az irányítás megszakadását követő földet éréskor a modell nem feltétlenül szenved komoly sérüléseket.

Az irányítási frekvencián bekövetkező interferencia felderítése és elkerülése céljából a KBSZ BA 2006-130-4. számú biztonsági ajánlásában javasolja a hasonló eseményeken bemutatót megelőzően a légtér rádióhullámokkal való telítettségének előzetes mérését, valamint bemutató repülések teljes időtartama alatt az távirányításra használt frekvenciák folyamatos megfigyelését.

## **Következtetések**

Magyarországon a hatályos jogi szabályozás nem biztosítja sem az UAV, sem a modellrepülőgépek biztonságos üzemeltetését. Bár a szabályozói környezet kialakítása során szükségessé válhat az UAV-k és a modellrepülőgépek üzemeltetésére vonatkozó előírások különválasztása, számos kérdésben (pl.: biztonsági rendszabályok, üzemeltetővel szemben támasztott követelmények, stb.) indokolt a közös alapokra helyezett különleges szabályok megalkotása.

Annak ellenére, hogy hazánkban a Magyar Honvédség az egyetlen és elsődleges UAV felhasználó, számos területen (mezőgazdaság, ipar, kommunikáció, stb.) jelentkezik az eszközök alkalmazásának igénye. A nem állami célú légitrafordításban alkalmazandó pilóta nélküli

légijárművek üzemeltetéséhez szükséges elkülönített légtérigények azonban az esetek túlnyomó részében nem biztosíthatóak.



6. Skylark I. típusú UAV

A jövőben indokolt annak vizsgálata, hogy az UAV milyen körülmények között integrálható a polgári légiközlekedés által használt légtérbe, olyan módon, hogy az ne jelentsen veszélyt a légiközlekedés jelenlegi szereplőire.

Figyelemmel arra, hogy a távirányítású modell repülőket már széles körben forgalmazzák, a jövőben bekövetkező balesetek elkerülése érdekében szükséges a terület mielőbbi törvényi szabályozása<sup>8</sup>.

A szabályozás kialakítását megelőzően szükséges a fogalmak pontos definiálása, melyet követően sor kerülhet a modellrepülők (repülési paraméterek, környezetre gyakorolt hatás alapján, stb.) kategorizálására, illetve az állami és a kereskedelmi felhasználású UAV-tól történő elkülönítésére.

A szabályozásnak ki kell terjednie a kereskedelmi forgalomba kerülő eszközök légialkalmasságára, a modellt kezelő személyek jogosítására, valamint a modellüzemeltetés egyéb feltételeire. Ajánlott az FS üzemmódok vizsgálata, és szükség szerinti szabályozása.

A nagy létszámú nézőközönség számára rendezett repülőeseményeken szigorítani kell a betartandó biztonsági rendszabályokat, beleértve a közönség és a reptető sáv között biztosítandó minimum biztonsági távolságot, valamint ajánlott olyan eszköz üzemeltetése, amely a rendezvény alatt folyamatosan képes a rádiófrekvenciák figyelésére, és esetleges interferencia fellépése esetén a szervezők riasztására.

Tekintettel arra, hogy a terület szabályozása hazai szinten kezdetleges állapotban van, valamint arra, hogy az illetékes nemzetközi szervezetek (ICAO, EUROCONTROL, EASA) is dolgoznak a légiközlekedés minden szereplője és a fejlődés igényének megfelelő szabályozás kidolgozásán, a hazai szabályozás során figyelemmel kell lenni a nemzetközi tapasztalatokra, és lehetőség szerint azokkal összhangban kell kialakítani a terület jogi szabályozását. A nemzetközi együttműködésnek köszönhetően elkerülhetővé válik, hogy a jövőben elérni kívánt céllal – Európa légiforgalmi szabályozásának teljes egységesítése – szemben az UAV és a modellrepülők vonatkozásában nemzetközi szinten fregmentált szabályok alakuljanak ki.

---

<sup>8</sup> A légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény felülvizsgálata, szükség szerinti kiegészítése a lajstromozásra nem kötelezett légijárművek vonatkozásában.



---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] HVG.hu: Halálos baleset történt az öcsényi repülőnapon, url: <http://hvg.hu/itthon/20060513ocseny>. (2012.03.13)
- [2] KBSZ zárójelentés 2006-130-4.
- [3] A légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (Lt.)
- [4] A légi-, a vasúti és a víziközlekedési balesetek és egyéb események szakmai vizsgálatáról szóló 2005. évi CLXXXIV. törvény (Kbvt.)
- [5] NATO Joint Air Power Competence Centre: Strategic Concept of Employment for UAS in NATO 2010 (2012. 03. 20.)



TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások  
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával  
valósul meg.

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing  
of the European Social Fund.”

Papp István<sup>1</sup>

## RAKÉTAHAJTÓMŰVEK ÜZEMELTETÉSÉNEK BIZTONSÁGI MEGOLDÁSAI<sup>2</sup>

### Rezümé

A rakéta az akció-reakció elv alapján működő repülő szerkezet, amely a meghajtásához szükséges tüzelőanyagot és oxidálóanyagot is magával szállítja. Az üzemeltetéshez szükséges összes anyag (tüzelőanyag és oxidáló anyag) a rakétahajtóművel felszerelt repülőeszköz fedélzetén rendelkezésre áll. Az ilyen eszközök légüres térben (a világűrben) is képesek tolóerőt biztosítani. Összességében elmondható, hogy a rakétahajtómű olyan különleges sugárhajtómű, amely működéséhez nem a légköri oxigént használja. A cikkben bemutatásra kerül ezen eszközök biztonságos üzemeltetésével kapcsolatos fontosabb üzembiztonsági megoldások.

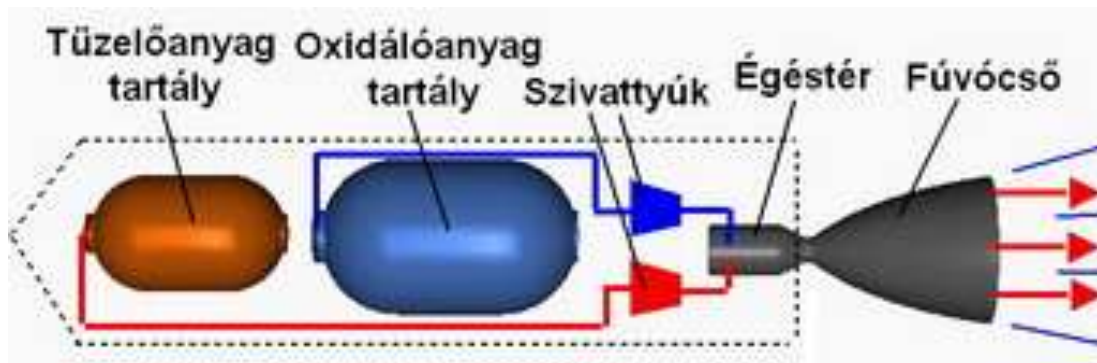
### SECURITY SOLUTIONS OF THE MISSILES PROPULSION MAINTENANCE

### Resume

The missile work in to the action-reaction principle operating aircraft structure, which is needed to propel you even deliver fuel and oxidizing agents. All materials needed for the operation (fuel and oxidizing agent) to the rocket engines installed on board aircraft equipment is available. Such devices in a vacuum (in space) are also able to provide thrust. Overall, the specific thrust jet engine, which works without using oxygen in the atmosphere. This article is presented in the safety management of these assets is more important safety solutions.

## A RAKÉTAHAJTÓMŰVEK FELÉPÍTÉSE

A munkaközeg felgyorsításának módja szerint a hajtóművek kémiai, atom- és elektromos hajtóművek lehetnek. Az utóbbi években kifejlesztésre került és tesztelés alatt álló ionhajtóműveken pl. elektromos tér gyorsítja a kiáramló ionokat. [1]

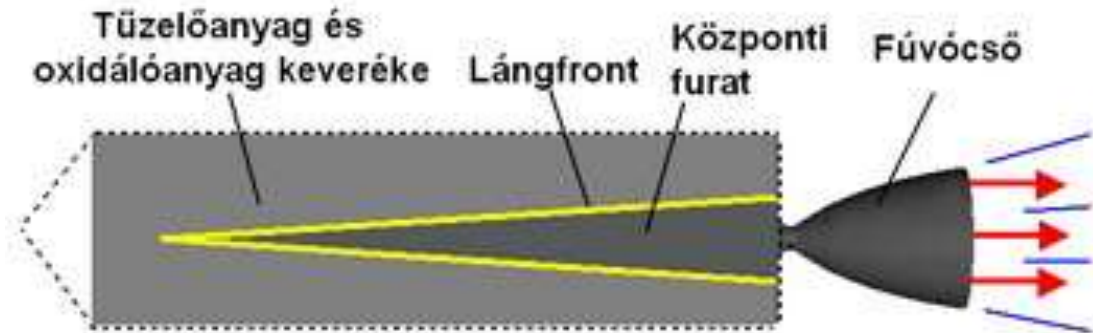


1. ábra [1]

<sup>1</sup> okl. mk. hdgy, tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, papp.istvan@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Szilvássy László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, szilvassy.laszlo@uni-nke.hu

Az 1. ábrán a folyékony, a 2. ábrán pedig a szilárd hajtóanyaggal működő rakétahajtómű elvi felépítése látható.



2. ábra [1]

## A RAKÉTAHAJTÓMŰVEK OSZTÁLYOZÁSA

A rakétahajtóműveknek számos fajtája létezik, amelyeket alapvetően kétféle típusba sorolható:

- A folyékony üzemanyaggal működő rakétahajtóművek:
  - leggyakrabban alkalmazott üzemanyagok: kerozin, folyékony hidrogén, hidrazin, etanol;
  - oxidálóanyagok: cseppfolyós oxigén, nitrogén-tetroxid, hidrogén-peroxid;

A XX. századi rakétakutatás és űrhajózás úttörői Ciolkovszkij, Goddard és Oberth dolgozták ki a többlépcsős folyékony hajtóanyagú rakéta részleteit. [1]

- A szilárd hajtóanyaggal működő rakétahajtóművek leggyakrabban finom alumínium por (üzemanyag) és ammónium-perklorát (oxidálószer) keverékét alkalmazzák. Ezeket nagymolekulájú anyagokkal (pl. polibutadién-akrilonitril-polimer (PBAN) vagy terminált hidroxil-polibutadién (HTPB) kötnek meg szilárd keverékké, melyek üzemanyagként is szolgálnak.

Egy másik csoportosítás szerint, a szilárd hajtóanyaggal működő hajtóművek lehetnek:

- homogén szilárd hajtóanyagok, amelyek kötött formában tartalmazzák az oxigént (pl. oldószerrel zselatinált nitrocellulóz);
- heterogén szilárd hajtóanyagok, amelyekben a tüzelőanyaghoz kristályos szeretlen só (pl. ammónium-nitrát, kálium-perklorát) formájában keverik az oxigénhordozó anyagot, amelyet valamilyen kötőanyagba, pl. poliuretánba ágyaznak. [1]

Elterjedt szilárd hajtóanyagok a berillium-hidrid (üzemanyag), finom alumínium por (üzemanyag) és ammónium-perklorát (oxidálószer) keveréke gumyszerű anyagokkal (pl. polibutadién-akrilonitril-polimer (PBAN) vagy terminált hidroxil-polibutadién (HTPB) szilárd keverékké megkötve, melyek üzemanyagként is szolgálnak. Régebben préselt fekete lőport is használtak, ezt ma már csak kisebb rakétákban alkalmazzák. [1]

A hajtóművek főbb jellemzői:

- tolóerő;
- fajlagos tolóerő;
- tömeg (a hajtómű fajlagos tömege a hajtóanyag komponensekkel feltöltött hajtóműszerkezet (hajtóház + táprendszer) tömegének és az előállított tolóerőnek a hányadosa);
- méret.

### ÜZEMBIZTONSÁG

Az üzembiztonság rendkívül fontos, de nehezen mérhető jellemző. Megmutatja, hogy milyen a meghibásodás nélküli működés valószínűsége. [2]

A paraméterek egymástól való függése nagyban befolyásolja a hajtómű teljesítményét (pl. a tolóerő a hajtóanyag-fogyasztás vagy a tüzelőtér nyomás függvényében), valamint a paraméterek jelleggörbéje (pl. a hajtómű magassági jelleggörbéje, vagyis a tolóerő változása a repülési magasság függvényében) is. [2]

#### A hőátadás biztonsági elemzésének fontossága a rakétahajtóművekben

A szilárd üzemanyagú rakétahajtóművekben az égéstermékkel igen magas hőmérsékleten közölt hőmennyiség és a fűvócsőben fellépő nagysebességű áramlás komoly hőterhelési problémákat okoz, amely megoldása nem könnyű feladat. Ha ezeket a hőátadási kérdéseket nem kezeljük kellő gondossággal, a következmények súlyosak lehetnek. A legkisebb probléma ha csak teljesítménycsökkenés lép fel, például a divergens törése miatt, de a helytelen méretezés következtében a hajtómű felrobbanása is bekövetkezhet. [2]

A rakétahajtóművekben a hőátadás alapján véve különbözik attól, amivel a szokásos kalorikus gépeknél, a motoroknál és készülékeknél, kazánoknál, kemencéknél, stb. találkozunk.

Úgy gondolom, hogy biztonságtechnikai szempontból az alábbi tényezők tisztázása (figyelembe vétele) nagyban hozzájárul a rakétahajtóművek üzembiztos és kifogástalan működéséhez:

1. A rakétahajtómű maximális működési ideje az **égésidő**, a teljes hajtóanyag-mennyiség kiegészéséhez szükséges idő. Az égőteret, biztonsági okokból, ennél hosszabb üzemidőre tervezik. Ez a **hajtómű-üzemidő**, ami az égéssel történő működés meghibásodás nélküli teljes időtartama.
2. A rakétahajtóművekben az egy térfogategységre eső **energia felszabadítás** jóval nagyobb, mint egy jó minőségű hagyományos gőzkazánban. A felszabadított energia egy jól tervezett gázturbina égőkamrájában 3-4 szeresre a hagyományos gőzkazánhoz képes. A szilárd üzemanyagú rakétahajtóműben ugyanezen energia a gázturbina égőkamrájához képest 4-5 szerese. Ezért is fontos az üzembiztonság szempontjából.
3. A **hőátadás sebessége** a felületegységen másodpercenként átáramló hőmennyiség, amit hőfluxusnak is neveznek.
4. Az **égési hőmérséklet** a rakétahajtómű égőterének végén az égéstermék gázok közepes hőmérséklete. Szilárd hajtóművekben jóval magasabb ez az érték, mint a szokásos ka-

zánokban, értéke rendszerint 2500 és 3000 K között van (A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművekben a falak mentén a hőmérséklet kisebb, mint az égőtér közepén).

5. Az **égési sebesség** (amely a szilárd rakétahajtóanyag esetében az időegység alatt az égés következtében bekövetkezett méretcsökkenése) vizsgálatánál nagyon fontos biztonsági szempont az, hogy az égéstermékek nagy áramlási sebessége a fűvócsövekben intenzív hőkonvekciót hoz magával.
6. A **hajtómű-üzemmód** a rakétahajtómű üzemének jellemzője, amely a tolóerő változás értékével és sebességével, a hajtóanyag fogyasztással és más paraméterekkel írható le. Átmeneti (indítás, leállítás, tolóerő-változtatás, hajtóanyag viszonyszám változtatás) és állandósult hajtómű-üzemmódot különböztetnek meg.
7. A **hajtómű-teljesítmény** a hordozórakéta pillanatnyi sebességének és a működő fokozat hajtómű tolóerejének szorzata. Nem jellemzi sem a hordozórakéta méretét, sem pedig a szerkezet korszerűségét, hiszen az indítás pillanatában, amikor a sebesség nulla, bármely rakéta hajtómű-teljesítménye is nulla. Technikai szempontból érdektelen adat. [1][2]

Fontos megemlíteni a hővezetéssel kapcsolatban, hogy a hajtómű egyes részei közvetlen érintkezésben vannak a forró égéstermékekkel: az égőkamra falát képező hőszigetelő bélésbe és a fűvócső falába a hőkonvekció és sugárzás útján jut be és ott hővezetéssel terjed tovább. [2]

## A rakétahajtómű tartályok típusainak üzembiztonsági elemzése

### *Szerkezeti anyagok*

A rakétahajtómű külső burkolatának rendszerint viszonylag magas nyomásokat kell kibírnia (5-10 MPa) nagyobb deformációk nélkül, hogy a nyomás alá helyezéskor minimális feszültségek terheljék. Tehát a rendelkezésre álló legjobb teljesítményű szerkezeti anyagok alkalmazása elengedhetetlen, valamint az is, hogy a méretezésnél viszonylag kis biztonsági tényezővel dolgozzanak (a repülőiparban szokásos értékekkel). [2]

A rakétahajtómű tartályok építéséhez leggyakrabban használt anyagok (fémek és szerkezeti, valamint kompozit anyagok családjába tartozók):

- alumínium ötvözet (AZ5GU);
- nemes acél;
- vascojet 1000 (40 CDV 20);
- maraging acél (Z2 NKD 18);
- titán ötvözet (TA 6 V);
- üveg fonal + epoxid gyanta<sup>3</sup>;
- karbon fonal + epoxid gyanta;
- grafit fonal + epoxid gyanta;
- kevlar PRD 49 poliamid + epoxid gyanta. [2]

### *Fémtartályok*

A rakétahajtóművekben alkalmazott fémtartályok rendszerint egy hengeres részből és két fedélből állnak. A mellső fedélen központi kör alakú nyílás szolgál a gyújtószerkezet beszerelésé-

---

<sup>3</sup> Párhuzamos szálakkal erősített kompozit anyag

sére, míg a hátsó fedélen ennél jóval nagyobb átmérőjű nyílásra van szükség a fűvócső felerősítésére. A fémtartályok vékony héjszerkezetek, gyűrűszerű erősítésekkel, peremekkel a fedélnyílások mentén és a hengeres rész és a fedelek csatlakozásainál. A legegyszerűbb előállítási eljárás szerint a hengeres részt fémlapból kerekítik és egy alkotó mentén hegesztik. A két tartályfedelelet dombornyomással, majd ezt követő forgácsoló megmunkálással gyártják és kerület menti hegesztéssel kötik a hengerhez. [2]

A megoldást megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy biztonságtechnikai szempontból nem elégséges, mivel a henger alkotója mentén futó hegesztővarratot a belső nyomás hatására fellépő kerületi feszültségek terhelik. Ennek elkerülésére alkalmazzák az úgynevezett „folyással járó nyomást”. Ezen technológia segítségével, a megfelelő anyagból kovácsolt vastag falú rövid hengert hossz tengelye körül forgatják és igen nagy erővel, több lépésben, nyomószerszámmal a hajtóműben kívánt hosszúságúra levékonyítják, valósággal elkenik. A főlény az, hogy eltűnt a hosszirányú hegesztővarrat, ezen kívül nincs anyagvesztés. [3]

### *Tekercselte kompozit tartályok*

A szilárd hajtóanyagú rakétahajtóművek égőtér burkolatát gyakran készítenek kompozit anyagból tekercseléssel. Az üres égőtér belső alakjának megfelelő forgástere (más néven: mag), a töltőanyag használt, műgyantával impregnált, igen vékony (5-10  $\mu\text{m}$  vastag) fonalakból alkotott köteget raknak le több rétegben, forgás közben, meghatározott pálya szerint. A fonalköteg pálya és a mag mediángörbéje által bezárt szöveget tekercselési szögnek nevezzük. Megválasztásával biztosítani lehet, hogy valamennyi fonalat egyenlő húzófeszültség terhelje, amely üzembiztonság szempontjából fontos és elengedhetetlen feladat. [3]

## SZERKEZETI ANYAGOK ÉS GYÁRTÁSI ELJÁRÁSOK BIZTONSÁGI VIZSGÁLATA

A rakétahajtómű fűvócső szerkezeti anyagainak egyaránt ki kell elégíteniük a szilárdsági és az aerodinamikai követelményeket. Megállapítható, hogy a nagyon intenzív hőcserélődés következtében a belső fal hőmérséklete rendkívül gyorsan emelkedik és a meleg hővezetéssel az egész fűvócsőbe szétáramlik. A szokásos szerkezeti anyagok szilárdsági tulajdonsága ezeken a hőmérsékleteken leromlanának, ezért a szigeteléssel a hő terjedését meg kell gátolni.

Ezen kívül, a belső fal anyagát az égéstermékek áramlása miatt fellépő termokémiai és termomechanikai hatások is igénybe veszik. A fűvócsővel szemben támasztott biztonsági követelmény az, hogy az erózió a lehető legcsekélyebb legyen. [4]

A fűvócsővekben háromféle típusú anyagot használnak:

- szilárdságot biztosító szerkezeti anyagokat (fémek, kompozit anyagok);
- hőszigetelőket (kemény polimer kompozitok);
- hőellenálló anyagokat (volfrám, grafit, pirolitikus grafit, karbon-karbon). [4]

A fűvócső belső falanyagának kiválasztásánál, az adott részeken, ahol a hőfluxus a legerősebb, a következő szempontok vezetnek:

- az égéstermékek tartályhőmérséklete gyakran eléri a 3400 K-ot;
- az égéstermékek redukáló hatásúak [4].

Néhány évtizeddel ezelőtt csupán két falanyag állt rendelkezésre: a volfrám és a polikristályos grafit<sup>4</sup>. Ezeket használták a fűvócső torokban. A volfrám kiváló hőálló fém, jól bírta a termikus sokkot és az erózió csaknem nulla volt (3400 K-ig), de rendkívül magas fajlagos tömege szükségszerűen korlátozta alkalmazási lehetőségeit. [4]

Itt kell megemlíteni a pirolitikus grafitot, amelyet a 70-es évek táján gyakran használtak torokbetétnek. Egy fal mentén, amelyet 2500 K-ra melegítenek, metán gázt áramoltatnak. Ezen a hőmérsékleten a szénhidrogén felbomlik (krakkol) és a falon karbon rakódik le. A fenti eljárás ismétlésével a rétegvastagság növekszik, és ezt addig folytatják, amíg néhány milliméter vastagságú lapot nem kapnak. [4]

Végül megjegyzendő, hogy a pirolitikus grafit nyíróigénybevételnek nem képes ellenállni, tehát az üzembiztonsági szempontokat nem elégíti ki, mivel a legcsekélyebb nyírás az anyag rétegekre bomlását okozza. [4]

Mivel a fentebb említett szerkezeti anyagok nem voltak kielégítőek, a hajtómű gyárak több-éves kutató munka után újabb anyagokat fejlesztettek ki, a karbon-karbon anyagokat. Ezek kompozit anyagok, amelyeknek a vázát karbon vagy grafit fonalak alkotják és a váz üregeibe bevezetett töltőanyag is karbon. A vázak előállítása többféle eljárással történhet. [4]

## TOLÓERŐ LEÁLLÍTÓ BERENDEZÉSEK

Ha a rakéta által szállított terhet nagy pontossággal akarják ballisztikus pályára helyezni, szükséges feltétel, hogy a rakéta, rendszerint utolsó fokozatának tolóereje igen rövid idő alatt leálljon. Ezt az igen fontos biztonsági feladatot a tolóerő leállító berendezéssel (TLB) érik el, amely a mellső tartályfedélen megfelelő számú és átmérőjű nyílást létesítve a tolóerő inverzióját idézi elő. [5]

A nyílásokat lezáró fedelek pirotechnikai reteszekkel vannak ellátva. A hajtómű propergoltömbjét úgy alakították ki, hogy a tolóerő inverzió pillanatában az égőkamra gázai a nyílásokon ki tudjanak áramlani, vagyis a zárófedél belső oldalát ne takarja propergol. Az adott pillanatban a pirotechnikai mechanizmus kiszabadítja a csillag alakú reteszeket és az égőkamranyomás hatására a szabaddá vált fedelek kirepülnek. A nyitás után az égőkamra nyomás lecsökken és egy második üzemmódban stabilizálódik. Ennek következtében a fékezőerő is csökken, de elegendő, hogy a ballisztikus pályán tovább mozgó terhet a rakétafokozattól még jobban elválassza. Az átváltás a két üzemmód között csupán néhány tizedmásodperc. [5]

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Rakétahajtómű, e-dok. url:<http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/RakeHajt.htm> (letöltési idő: 2012-04-04. 10:13)
- [2] BOISSON J – La propulsion par fusée Tome 1 et 2. ENSTA, Paris 1972.
- [3] DARDARE J. – MERIGUET J. – VAILHE L. Réacteurs – Fusées Tome 1 et 2. ENSTA, Toulouse, 1974.
- [4] DARMOIS J. Propulsion 1ère partie: Poudres propulsives; 2ème partie: Technologie des propulseurs
- [5] ENSTA, Paris 1972.
- [6] DAVENAS A. et al. – Technologie des propergols solides. Masson, Paris, 1989.

<sup>4</sup> A polikristályos grafit mesterséges termék, nagy tisztaságú kőolaj, kokszipor és kátrány keverékéből állítják elő.



Restás Ágoston, PhD<sup>1</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK (UAV) ERDŐTÜZEKNÉL TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSÁNAK STRUKTURÁLT FELOSZTÁSA<sup>2</sup>

*A pilóta nélküli repülőgépek (UAV) erdőtüzeknél történő különböző alkalmazásának strukturált felosztását mutatja be a cikk. Az UAV légi őrzéssel a tüzek gyors detektálására vagyunk képesek, ezzel lehetővé téve, hogy elsőként adjunk tűzjelzést a tűzoltóság részére. A beavatkozás megkezdése előtti felderítéssel a tűzoltás irányítását végzőket segíthetjük; a rövid időn belül felszállásra kész UAV a start után már 2-3 perccel valós idejű információt szolgáltat a tüzről és annak környezetéről. A beavatkozás közben, amikor légi felderítésre lenne szükség, de a hagyományos eszközök igénybevétele drága, az UAV alkalmazása költséghatékony megoldást nyújthat. A tűzoltás után a terület felügyeletéről való gondoskodásban segíthet az UAV alkalmazása, hogy az esetlegesen visszamaradó parázsló részek ne gyújtsák vissza a területet. Közepes méretű UAV ellenőrzött tüzeket is gyűjthet. Egy speciálisan erre a célra átalakított eszközt alkalmazunk, amely tűzgolyókat, vagy pasztillákat kibocsát ki. A tömegcsökkentés lehetővé teszi, hogy a feladatot UAV is végrehajtsa.*

### **THEMATICALLY SEPARATED APPLICATIONS OF UAV AT FOREST FIRE**

*This paper describes structured applications of using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for supporting fire managers in different ways. Aerial patrol by UAV can detect hot spots very quickly and able to give the first fire report to fire brigades. Starting intervention the operational used UAV could help for fire managers; below just some minutes it is ready for launch and 2-3 minutes later it transmits the real time pictures about the fire and their circumstances. During intervention, where aerial reconnaissance is required but manned aircraft is above price, UAV could give also a cost effective solution. After suppressions, in many times, area surveillance is required to prevent starting fire again by remained cinder. There are other initiatives as making prescribed fires with using medium size UAV. The special equipment full filled with fire eggs or pastilles takes less weight than the payload capacity of UAV. It means UAV can provide also this task, giving more possibilities for managers using prescribed fires method with limited costs.*

## BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőgépek erdőtüzeknél történő alkalmazási lehetőségét szinte kivétel nélkül valamennyi gyártó ajánlásában megtaláljuk, azonban egyetlen helyen sem találkozunk annak konkrét megvalósítására tett javaslattal, vagy példával. Ennek nyilvánvaló okai között szerepelhet az, hogy a tűzoltás szakembereivel ennek az alkalmazásnak a részleteit a gyártók sohasem vizsgálták vagy elemezték. Az ajánlás egyértelműen a légi felderítésre fókuszál, holtan ettől ma már lényegesen többre is képesek lehetnek az UAV-k.

A légi felderítés fogalmkörébe beletartozik a tűzjelzést megelőző, a tűz mielőbbi észlelését, detektálását célzó aktív észlelés; a tűzoltás megkezdése előtti, a hatékony beavatkozást infor-

<sup>1</sup> egyetemi docens, mb. tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék, arestas@r-fire.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu



mációkkal segítő felderítés; a tűzoltás folyamata során a tűz alakulásának állandó nyomon követése, monitorozása; valamint a tűz támadó jellegű oltását követő utómunkálatok közbeni, a parázsló részek utáni kutatás, a visszagyulladás megelőzését szolgáló információszerzés. A fentiek kiegészítéseként ma már megkezdődött az aktív tűzoltásban, az ellenőrzött tüzek gyűjtésében való közreműködés kidolgozása és megvalósítása is. A cikk a fenti lehetőségeket strukturális felosztás alapján mutatja be; elsőként a légi felderítésre koncentrálva, majd az ellenőrzött tűzgyűjtés lehetőségével kiegészítve. A fentiek alkalmazások tűzoltó-taktikai és gazdaságossági szempontú elemzése időszerűnek ítélné.

## LÉGI ŐRJÁRATOZÁS A TÜZEK ÉSZLELÉSE CÉLJÁBÓL

Az UAV erdőtüzeknél történő alkalmazásának logikailag első lehetősége a tüzek keletkezése előtti tevékenység, amely légi őrzáratozás formájában valósítható meg. A légi őrzáratozás célja az, hogy gyorsabb tűzérezkelést biztosítson, mint a spontán jelző személyek bejelentései. Ezáltal a beavatkozás korábban megkezdhető, gyorsabb oltást és nagyobb megmentett értéket eredményez. Amennyiben a légi őrzáratozás gyorsabb jelzést eredményez, mint az állampolgári bejelentés, úgy abszolút értelemben ez a módozat hatékonyabbnak tekinthető.



1. ábra Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi őrzáratozás. Forrás: szerző

Az UAV légi őrzáratozásának végrehajtása alapvetően megegyezik a klasszikus, a fedélzetén személyzettel repülő légi járművek őrzáratozásával. A különbség az, hogy a repülőgép fedélzetén tartózkodó személyzet helyett a tüzek észlelését az UAV fedélzetre installált kamera lesugárzott képének figyelésével a megfigyelő központban tartózkodó személyzet végzi. Az alkalmazás hasznosságánál elsősorban a hatékonyság kérdéskörét kell vizsgálni.

Amennyiben a központban korábban észlelik a tüzet, mint ahogyan állampolgári bejelentés érkezik, úgy abszolút értelemben hatékonyabb megoldásról beszélhetünk<sup>3</sup>. Ez a megközelítés szakmailag védhető bár, de nemzetgazdasági szinten nem bizonyítható a hatékonyság valóban magasabb szintje. Ehhez gazdaságossági alapon nyugvó bizonyítás szükséges: A megmentett érték növekedése amennyiben eléri, vagy meghaladja a légi őrzáratozás költségeit, úgy az észlelésnek ez a módja már nemzetgazdasági szinten is hatékonyabb.

A légi őrzáratozás nélküli és a légi őrzáratozással végrehajtott tűzoltás eredményessége a kárérték,

<sup>3</sup> Részletesebb gazdaságossági elemzéseket szintén a szerző végzett PhD értekezésében. [1]

illetve a megmentett érték különbségében kimutathatónak kell lennie. Amennyiben a korábbi jelzés eredményeként a kárérték olyan mértékben csökken, illetve a megmentett érték olyan mértékben nő, amely legalább eléri, de inkább meghaladja a légi őrzáratozás valamennyi költségét, akkor a légi őrzáratozás gazdaságossági szempontból is előnyös. A gazdaságossági szempontból előnyös beavatkozás a nemzetgazdasági szintű hatékonyság feltételének teljesítését is jelenti.

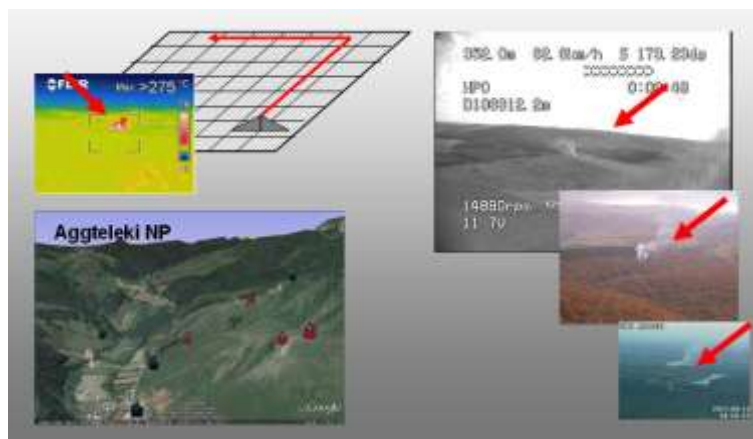
$$\Delta K_{\text{kárérték}} > \Sigma C_{\text{légi}_\text{őrzáratozás}} \quad (1)$$

$$\Delta M_{\text{megmentett}_\text{érték}} > \Sigma C_{\text{légi}_\text{őrzáratozás}} \quad (2)$$

- $\Delta K_{\text{kárérték}}$  kárérték különbség a légi őrzáratozással és légi őrzáratozás nélküli beavatkozások között;
- $\Sigma C_{\text{légi}_\text{őrzáratozás}}$  a légi őrzáratozás során felmerülő valamennyi költség;
- $\Delta M_{\text{megmentett}_\text{érték}}$  megmentett érték különbség a légi őrzáratozással és légi őrzáratozás nélküli beavatkozások között.

A tűzoltóságok saját erőből képtelenek a légi őrzáratozás költségeinek fedezésére. Magyarországon az ezredforduló idején civil kezdeményezésre<sup>4</sup> már történtek erőfeszítések a légi őrzáratozás bevezetésére, de szakmai és gazdaságossági megalapozottság hiányában nem sikerült a szükséges feltételek megteremtése.

A repülőgépek üzemeltetési költségei nemzetgazdasági szinten csak akkor térülhetnek meg, ha a tüzek észlelése által jelentős kárérték csökkenések következnek be<sup>5</sup>. Azaz a légi őrzáratozás teljes repülési idejéhez viszonyítva az észlelések aránya egy bizonyos mértéket eléri, illetve meghalad. Ez a mérték az észlelés számából, gyakoriságából adódik és eredményeként a gyorsabb észlelések által a leégett területek összességének kárérték csökkenése, vagy megmentett érték növekedése levezethető. A kárérték csökkenések összességének el kell érnie, illetve meg kell haladnia a légi őrzáratozás teljes költségét.



2. ábra Az UAV légi őrzáratozásának eredménye a tüzek gyors detektálása.

A légi őrzáratozás illusztrációja és UAV által készített valós tüzetektálások képei. Forrás: szerző.

<sup>4</sup> Az Erdők Védelméért Alapítvány az 1993. évi Bócsa és 2000. évi Ágasegyháza körzeteiben pusztító tüzek tapasztalatai alapján Matkópuszta Repülőtér központtal kezdeményezte a légi őrzáratozás megszervezését.

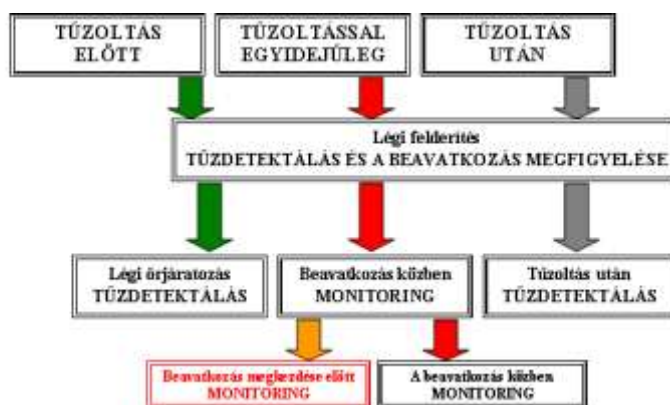
<sup>5</sup> A légi őrzáratozásnak a megelőzésben, a visszatartó erőben megnyilvánuló szerepét a cikk nem tárgyalja.

Érdekes felismerést jelent, hogy logikailag az UAV-kel végrehajtott légi őrzőjáratok közgazdasági elemzése meg kell, hogy egyezzen a személyzettel rendelkező repülőgépekkel végrehajtott őrzőjáratok hasznosságai kritériumaival.

A légi őrzőjáratok végrehajtásához olyan UAV alkalmazása jöhet szóba, amelynek üzemelési paraméterei lehetővé teszik a néhány órás levegőben való tartózkodást (1-3 óra), a közepes magasságú repülést (1000-6000 m) és a valós idejű adatok nagy távolságú lesugárzását (min. 100 km). A fenti meghatározások közelítő értékek, azok alapvetően függenek a megfigyelni kívánt terület nagyságától és adottságaitól (sík vidék – hegyvidék)<sup>6</sup>.

A fenti feladatok ellátására magyar példaként alkalmas lehet a BONN Hungary Kft. által gyártott BX UAV, nemzetközi példából az UAVNavigation, Alpha Unmanned System családjából az Atlantic.

## LÉGI FELDERÍTÉS A BEAVATKOZÁS MEGKEZDÉSE ELŐTT



3. ábra Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi felderítés a beavatkozás megkezdése előtt. Forrás: szerző.

A tűzoltás megkezdése előtt a legfontosabb dolog a felderítés, amely segítségével a beavatkozáshoz nélkülözhetetlen alapvető információkat szerzünk be. Bármely módszer, amely ehhez segítséget képes nyújtani, szakmai szempontból hatékonyan értékelhető. A fentiek alapján az UAV alkalmazása, mint a légi felderítést lehetővé tevő eszköz szakmai szempontból hasznosnak tekinthető.

A felderítéssel szemben támasztott egyik legfontosabb kritérium a gyorsaság. A bevetés előtti információhiány mielőbbi kielégítése segíti elő a hagyományos módtól – azaz az UAV támogatása nélküli beavatkozástól – a hatékonyabb tűzoltást. Ez az ún. kárérték-idő függvény elemzéséből is következik. [1][2] Ez megköveteli, hogy az UAV alkalmazására a helyszínen azonnal szükség van, tehát logikailag következtetve annak hozzá kell tartoznia az erdőtüzoltást végzők speciális málfelszereléséhez.

A gyors alkalmazás feltétele a saját tapasztalataim alapján teljesítettnek vehető, amennyiben a tűz helyszínére érkezéstől számított 5 percnél kevesebb idő alatt az UAV felszállásra képes. Figyelembe véve a felszállás utáni emelkedés és a tűz irányára való ráfordulás idejét, a kísérletek alapján

<sup>6</sup> A cikk nem tárgyalja az alkalmazáshoz szükséges hatósági engedélyeztetés körülményeit.

már akár 2 percen belül is értékelhető képet kapunk a tüzről. Ez alatt az idő alatt a tűzoltó gyalogosan legfeljebb 420 méter megtételére képes, amely csupán egy 67 méter sugarú tűzterület körbejárására lenne elegendő. Azaz a gyalogos felderítés hatékonysága legfeljebb ekkora kiterjedésű tűz esetéig lehetne magasabb, ettől nagyobb tűz ( $T_{\text{tűz}} > 1,5 \text{ ha}$ ) esetén a teljes területről az UAV gyorsabban képes információt szolgáltatni.

A fentiek teljesíthetősége egy vizuális és szükség szerint hőkamerával együtt felszerelt repülőgépet igényel, az adatokat valós időben lesugározva a döntéshozó részére.

Az azonnali bevethetőség kizárja annak lehetőségét, hogy a felderítésnek ezt a módját szolgáltatásként külső szerv lássa el, így az alkalmazást a tűzoltóknak kell saját maguk biztosítani. Ez utóbbi újabb követelményeket generál, amely magában foglalja néhány tűzoltó kiképzését, a végfelhasználó – barát kivitelezést és üzemeltetést. Ezáltal feltételként szabható, hogy az UAV indítása után az üzemeltetést akár egy tűzoltó is képes legyen ellátni. Ezt megkönnyítheti, ha a repülőgép autonóm irányítási rendszerrel (robotpilóta) is fel van szerelve.

Az 5 percen belüli felszállás a műszaki követelményeket is megszabja. Mivel a robbanómotorok üzemeltetése, kiszolgálása (üzemanyag feltöltés, karbantartás, stb.) jelentősen körülményesebb, ezért az alkalmazható meghajtás csak elektromos lehet.

A málházás követelményének kielégítése elemeire bontható és gyorsan összeszerelhető sárkányszerkezetet igényel, amely könnyen dobozolható és méreteiben lehetővé teszi a rendszerített eszközökön történő szállítást (pl. tűzoltásvezetői jármű).

A hatékony beavatkozás megkezdéséhez szükséges alap információkat a lehető legrövidebb időn belül kell biztosítani. Saját tapasztalataim alapján így elegendő, ha a PNR 15–20 percet tartózkodik a folyamatosan a levegőben. Amennyiben hosszabb repülési időre van szükség, úgy leszállást kell közbeiktatni és egy akkumulátor cserével a repülés tovább folytatható.



4. ábra A tüzről rendelkezésünkre álló információ légi felderítéssel és annak közeli képe  
Forrás: másodlagosan a szerzőtől.

A fenti célok teljesítéséhez számtalan lehetőséget találunk. A kisméretű merevszárnyú repülőgépek ugyanúgy alkalmasak lehetnek a feladatra, mint a helikopterek. Saját tapasztalataim alapján az UAV képességeivel szemben támasztott követelmények közül a gyorsaság sokkal inkább fontosabb kritérium, mint annak magas technikai színvonala.

Tűzoltó-taktikai szempontból számos előnyét lehetne sorolni az UAV alkalmazásának. Az információk objektivitásának megítélésére példák sora mutatható be. A domborzati és terepviszonyok, valamint a füstképződés és esetenként a völgyekben megülő füst is korlátozza a felderítést. Az egymástól távoli beavatkozók különböző paraméterekkel jellemezhető frontvo-

nalat oltanak, így az arról tett jelentéseiket a saját helyzetük szubjektív megítélése alapján teszik. Ez által a tűz helyzetéről, alakulásáról szerzett információk nem a valós képet adják, a szubjektív jelentések egymáshoz viszonyított arányai eltorzítják azt. Az UAV alkalmazásával a nagyobb magasság, a rálátás kedvezőbb szöge lehetővé teszi, hogy teljes, átfogó képet kapjunk az erdőtüz jelenlegi helyzetéről és várható alakulásáról.

Az UAV segítségével végrehajtott légi felderítés nem csak a statikus helyzet felmérésére és megítélésére alkalmazható, hanem meghatározott időszakonként végrehajtott útvonalrepüléssel a tűz terjedési irányának és sebességének pontos meghatározását is biztosítja. Ez lehetővé teszi az erők és eszközök célszerű összevonását és a beavatkozás helyének szakszerű, taktikailag optimális megválasztását. A légi felderítésnek ez a módja már átvezet a beavatkozás közbeni alkalmazás tárgyalásához.



5. ábra Merevszárnyú UAV (Fenix) indítása és helikopter (Bee) lebegése. Mindkettő horvát gyártmány (6DOF), Magyarországon az R-Fire Kft. alkalmazza. Forrás: 6DOF és a szerző magánarchívuma

## LÉGI MEGFIGYELÉS A BEAVATKOZÁS KÖZBEN

A pontos felderítés általánosan is a szakszerű beavatkozás követelménye, de az erdőtüzeknél ez különös szerepet kap. A földi beavatkozó állomány a tűz nagy kiterjedése miatt nem látja át az egész területet, így korlátozott a pontos felderítésben. A terület teljes áttekintésére, a valós és a várható helyzet megítélésére a nagyobb magasságból történő megfigyelés<sup>7</sup> és a légi felderítés<sup>8</sup> lehetőségét a Tűzoltási Szabályzat értelmében is célszerű kihasználni.



6. ábra Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi felderítés tűzoltás közben. Forrás: szerző

<sup>7</sup> Tűzoltási Szabályzat 347. pontja

<sup>8</sup> Tűzoltási Szabályzat 338. pontja

Az erdőtűzek oltásának egyik alapvető jellegzetessége, hogy az oltás ideje alatt az égő terület tovább nő, így a tűzoltásvezetőnek erre figyelemmel kell meghatározni a hatékony oltási technikát. Vagyis, nem csak a már égő területre kell koncentrálni, hanem az oltás során várhatóan még bizonyosan leégő, megmenthető, stb. részekre is. A tüzet környezetével együtt kell kezelni! [3] Ez a kritérium meghatározza, hogy az UAV repüléseket nem a tűz fölött kell végrehajtani és nem a tűz frontvonalának közeli láthatóságát, hanem a terület egészéről egy perspektivikus képet kell biztosítani, amellyel nyomon követhető a tűz frontvonala, a vegetáció változása, a megközelítési útvonalak lehetősége.

A légi felderítés gyakorlati [4][5], valamint saját tapasztalataim alapján a repülési magasság 500 méter alatt már biztosítja a területre történő megfelelő rálátást, de kiterjedt tüzeknél is elegendő az 1000 méter alatti tartomány.

Az UAV alkalmazására az elsődleges beavatkozók által kerül sor, így várható, hogy a tűz kiterjedése még korlátozott. Ezért viszonylag kis terület megfigyelésére kell koncentrálnunk, ami lehetővé teszi, hogy a rálátás szöge már 500 méter alatt is kedvező lehessen.

A kamera típusától függően lehet fixen vagy távirányítással mozgathatóvá téve rögzíteni. Amennyiben a kamera mozgatása nem lehetséges, úgy a megfigyelési idő a tűz irányára történő rárepülés idejével egyezhet meg. Ebben az esetben a repülés pályája is kötöttebb, hiszen az előre néző kamera esetén az ideális helyzet a tűz irányára történő rárepülés. Amennyiben ettől a gép törzse eltér, úgy a kép kieshet a látómezőből, csökkentve a megfigyelés hatékony idejét. A legegyszerűbb fix kamera rögzítése esetére a következőképp adom meg a ciklusidőből számított hatékony megfigyelés idejét:

$$t_{\text{monitor}} = t_{\text{ciklus}} - (2t_{\text{ford}} + t_{\text{visszarepülés}} + t_{\text{korrekció}}) \quad (3)$$

A fenti képletben szereplő jelölések értelmezése:

- $t_{\text{monitor}}$  - a tűz irányába való repülés idejéből a tényleges megfigyelés időtartama;
- $t_{\text{ciklus}}$  - egy teljes repülési ciklus, a repülőgép visszaérkezik a kiindulási helyre;
- $t_{\text{ford}}$  - a fordulási idő;
- $t_{\text{visszarepülés}}$  - a tűztől való elrepülés ideje;
- $t_{\text{korrekció}}$  - a rárepülés idejéből a tűz látótéren kívül maradásának ideje.

Az erők és eszközök koncentrációja célszerűen a legveszélyeztetettebb objektumok védelme, illetve legintenzívebben égő területek megfékezése érdekében történik. Azonban a tűz intenzitásának mértéke az idő függvényében akár jelentősen is módosulhat. Ezt a vegetáció típusának, az adott terület tűzterhelésének változása, természetes akadályok befolyásolhatják. Az adott pillanatban intenzív terjedés később lelassulhat és fordítva: a csekély terjedésű frontvonal égése magasabb tűzterhelésű terület elérésekor intenzívebbé, terjedése gyorsabbá válhat. A fentiek következménye, hogy az erdőtűzek hatékony oltása nem csak a jelenleg égő frontvonalak szakszerű oltását követeli meg, hanem a jövőben várható frontvonalakhoz igazított oltási helyek megválasztását is. A fentiek miatt az UAV alkalmazása egyértelműen hasznos segítség a döntéshozó számára.



7. ábra Az UAV által készített fotókon 3 tipikus tűzforma azonosítása lehetséges: pont tűz, lineáris tűzterjedés, területtűz. Forrás: szerző magánarchívuma

Az erdőtüzekre jellemző erős helyi feláramlások (konvenció) következtében kialakuló röptüzek mielőbbi felderítése jelentős előnyökkel jár<sup>9</sup>. A földi megfigyelők látókörén kívül eső, – még jelentős területen nem égő és nem füstölő – tüzek időbeni eloltása a későbbiekben erő, eszközök tartós lekötését takaríthatja meg. A tűzvonaltól kialakuló újabb tűzfészkek nem csak a tűz frontvonalainak számát, hosszát növeli, de időben nem észlelve veszélyt jelent a beavatkozó állomány biztonságára is.

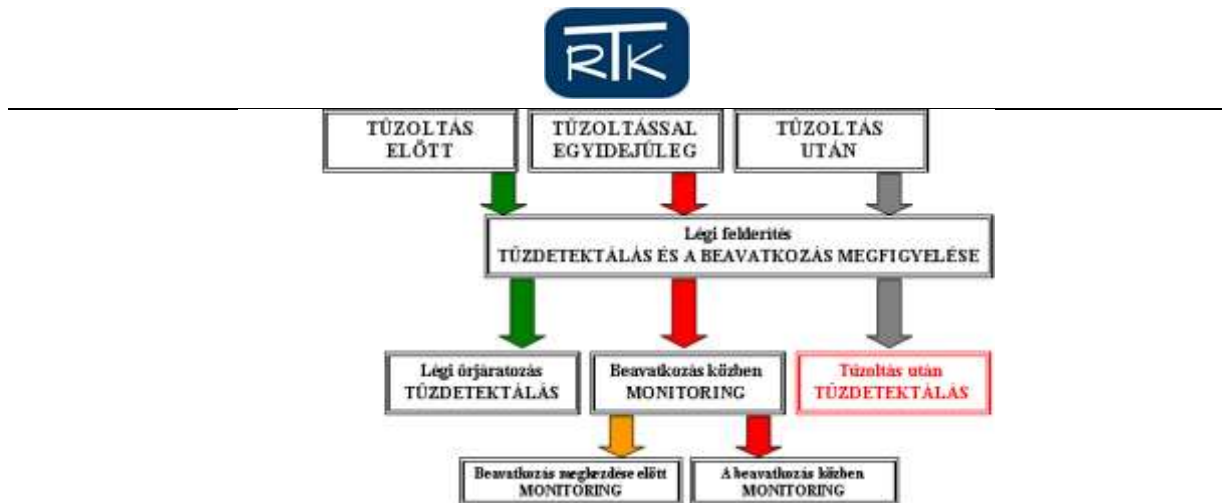
A 7. ábrán látható, hogy a tűz frontvonala élesen elkülönül a környezetétől, így nemcsak annak pontos elhelyezkedése, de legfőbb jellemzői, a tűzintenzitás, a főbb terjedési irányok is meghatározhatók. A tűz környezete is jól látható, megfigyelhetők a növénytakaságok változásai; az erdei utak is kirajzolódnak. Ezt az sem gátolja, hogy a példaként bemutatott felvételek színesek; a fekete-fehér kamerával készült képeken ezek előnyösebben kirajzolódnak<sup>10</sup>. Ez utóbbi tény további következtetés levonását teszi lehetővé: a tűz felderítéséhez, a hatékonyság minimum követelményeinek kielégítéséhez a fekete-fehér kamera alkalmazása is megfelelő.

## A TŰZ ELOLTÁSA UTÁNI TERÜLET MEGFIGYELÉS

A tűz eloltása utáni feladatok közé tartozik a terület átvizsgálása, a még parázsló részek felkutatása, annak teljes eloltása céljából. Ezzel megelőzhető, hogy a tűz spontán, vagy a szél hatására visszagyulladjon, főlegessé téve az addig elvégzett oltási munkálatokat. Nagy terület egyidejű felügyelete jelentős erőforrásokat köthet le.

<sup>9</sup> A röptüzek kialakulásának kockázata a koronatűzzel égő erdő esetén különösen magas.

<sup>10</sup> A színes kép látványa a szemnek nagyon kellemes, de információtartalma túl sok, figyelemelterelő hatása van. A figyelésre fordított energiát a többféle szín úgy emészti föl, hogy közben nem nyújt a döntéshez többlet információt. A tűz frontvonalának markáns megjelenése a fekete-fehér képekhez viszonyítva kisebb.



8. ábra Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: tűzoltás utáni terület megfigyelés. Forrás: szerző

A személyes felügyelet hatékonysága korlátozott, hiszen az egyidejűleg átlátott terület nagysága a megfigyelő helyzetétől jelentősen függ, valamint az izzó göcök felkutatása, vagy észrevételezése csak a tűz, ember által észlelhető kísérőjelensége, az izzás és füstölés észlelése által lehetséges. Hőkamera alkalmazásával a láthatósági küszöb alatti részek is könnyen észlelhetővé válnak, objektív, a környezet hőmérsékletén alapul, elkerülve a szubjektív észlelés okozta tévedést.



9. ábra. Eloltott terület megfigyelése hőkamerával  
Forrás: szerző magán archívuma.

Amennyiben az eloltott terület felügyelete hőkamera alkalmazásával és az UAV igénybevételel valósul meg, úgy lehetőség van az adott terület egyidejű átláthatóságára és a parázsló göcök egyszerű detektálására.

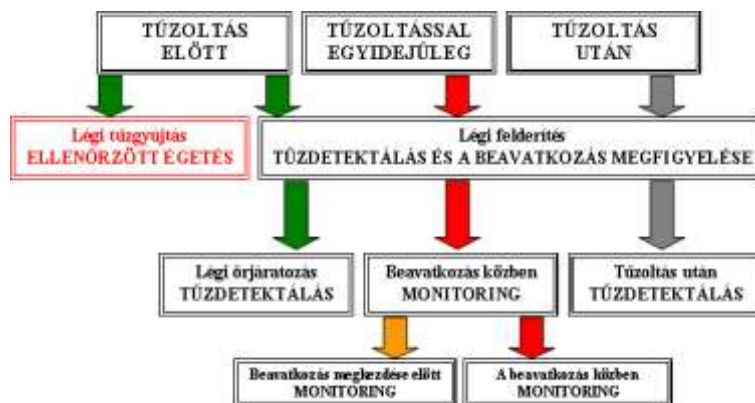
Az UAV alkalmazása szempontjából ez a feladat nem jelent a korábbiaktól jelentősebb eltérést, így a tüzek felderítésére és monitorozására vonatkozó megállapítások értelem-szerűen itt is alkalmazhatók. A végrehajtását jelentősen megkönnyíti, hogy a beavatkozáshoz viszonyítva kisebb a felelősség, nincs intézkedési kényszer és egyszerűbb a feladat [6]. Ezért ez kiválóan alkalmas az UAV pilóták képzéséhez, tréningezéséhez.

## TÜZGYŰJTÁS UAV ALKALMAZÁSÁVAL

A pilóta nélküli repülőgépek alkalmazása jelenleg az információszerzésre, vagyis a légi megfigyelésre, a felderítés lehetőségére fókuszál. [7] Azonban az UAV potenciálisan már egyéb feladatok elvégzésére is alkalmazható, amelyekre már nem csak elképzeléseket, de akár meg-



valósult példákat is találhatunk. Ez utóbbira lehet példa az a különleges alkalmazás, ahol a csekély szállítási kapacitással rendelkező UAV a hegyi mentésben egy segéd kötélfelhúzóval tudta támogatni, és így gyorsabbá tenni a mentést. Ez a fejezet az ellenőrzött tüzek generálásához az UAV segítségével végzett légi tűzgyújtás lehetőségét mutatja be.



10. ábra Az UAV alkalmazásának strukturális felosztása: légi tűzgyújtás – ellenőrzött égetés. Forrás: szerző

Az erdőtűzoltásnál a megelőzésben speciális szerepe lehet az UAV alkalmazásának. [8] A nagy tüzek kialakulásának alapvető tényezője, hogy az adott területen évek alatt nagy mennyiségű éghető anyag halmozódott fel. Ennek csökkentésére a nemzetközi gyakorlat rendszeresen alkalmazza az ellenőrzött égetés lehetőségét, amelynek a lényege az, hogy a kiválasztott területen meghatározott körülmények között – ami elsősorban a meteorológiai viszonyokra vonatkozik – az aljnövényzetet meggyújtják. Az égés intenzitása a meteorológiai viszonyok miatt alacsony marad, ezáltal az égéshő nem sérti a fák kérgét, azok fejlődését sem gátolja, de a talajon felhalmozódott elszáradt részeket elégeti. A folyamat végén az éghető anyag mennyisége lecsökken, ezzel megakadályozza annak lehetőségét, hogy az arra alkalmas időjárási körülmények között kialakuljon a heves, nagy intenzitású és károkozású erdőtűz.

Az ellenőrzött égetésre különböző eszközöket alkalmaznak, ezek közé tartozhatnak a repülőgépek, vagy a helikopterek is. A fedélzetükre speciális eszközt telepítenek, amelyekkel a tűzgyújtás elvégezhető. A hatékonyság növelése érdekében már készítenek olyan berendezéseket is, amelyek ún. tűzgolyókat, vagy pasztillákat bocsátanak ki magukból.



11. ábra Az ellenőrzött égetés egy eszköze a fedélzetre installálva, és bevetés közben (Wildfire2011). Forrás: SEI Industry és a szerző magánarchívuma.

A fenti berendezések távirányítása megoldott, működésük a beavatkozás során automatikus. A tömegük teljes feltöltött állapotukban lecsökkenthető akár 12 kg-ra is. Az általános gyakorlatot

szerint ezeket az eszközöket egy könnyű kategóriájú repülőgépre, vagy helikopterre helyezik, és a megadott útvonalon repülve a berendezésből kibocsátják a gyújtóforrásokat. Egy könnyű helikopter tömege (pl. 11. ábrán látható) kb. 2000 kg, ami felveti annak szükségességét, hogy megvizsgáljuk, szükségszerű-e minden esetben egy eredeti méretében is csupán 20 kg tömegű eszközökkel szállítva alkalmazni. A bruttó és hasznos tömeg aránya 1:100, ami potenciálisan is felveti a hatékonyság teljesülésének megkérdőjelezését. Amennyiben rendelkezünk olyan eszközzel, amely képes jelentősen kisebb szállítási tömeg esetén is célba juttatni a gyújtóforrásokat, úgy annak hatékonysága nyilvánvalóan előnyösebb lehet.

Jelenleg számos olyan UAV található a piacon, amelyek szállítási kapacitása kielégítheti a kb. 12 kg tömegű terhek szállításához szükséges követelményeket. A szerző a feladat ellátásához több típust is alkalmasnak talál mind a merevszárnyú, mind a forgószárnyas változatokból.



12. ábra Az UAV alkalmazási elve ellenőrzött tüzek gyújtására, és egyik lehetséges eszköze.  
Forrás: szerző.

A gyújtóforrások kibocsátása előre tervezett útvonalon és programozottan történhet. Az UAV alkalmazása esetenként nem csak gazdaságossági szempontok miatt lehet előnyösebb a hagyományos megoldásoktól, de akár az egyetlen megoldást is jelentheti. Az UAV feladatát kevésbé korlátozza a füst miatti csökkent látótávolság; ez utóbbi technikai adottság akár éjszakai feladat végrehajtásra is lehetőséget biztosít. Ennek jelentősége azért mértékadó, mert az ellenőrzött égetéshez az éjszakai meteorológiai viszonyok sokszor kedvezőbbek, mint a nappaliak: alacsonyabb hőmérséklet, magasabb páratartalom, szélcsend. Az ellenőrzött tüzek gyújtásához az éjszakai feladat végrehajtást a személyzettel repülő eszközök esetében a biztonságos repülési magasság akadályozza. Az UAV autonóm navigációs és repülési rendszere értelemszerűen nincs korlátozva ebben, így alkalmazása előnyösebb.

A szerző közreműködésével jelenleg Németországban folynak erőfeszítések az UAV ellenőrzött tüzek gyújtásában való alkalmazására. [9]

Elsőként egy elhagyatott katonai gyakorlótéren kerül sor a bevetésre, ahol a fel nem robbant lövedékek miatt a hagyományos módon nem lehet végrehajtani a frontvonalak begyújtását. A feladatot a hatóságok 1 km biztonsági védőtávolság megtartása mellett engedélyezték végrehajtani, ami lehetetlenné teszi mind a tűz begyújtását, mind a frontvonalak mozgásának követését. Ezért egyetlen megoldásként az UAV alkalmazása jöhet szóba, amely már nem csak az égő terület monitorozását fogja elvégezni, de a frontvonalak begyújtását is.

A cikk az UAV erdőtüzeknél történő alkalmazási lehetőségét strukturális felosztásban mutatta be, illetve vizsgálta egyes elemeit.

Elsőként a légi felderítés lehetőségeit tárta fel, amelynek fogalomkörébe beletartozik a tűzjelzést megelőző, a tűz mielőbbi észlelését, detektálását célzó aktív észlelés; a tűzoltás megkezdése előtti, a hatékony beavatkozást információkkal segítő felderítés; a tűzoltás folyamata során a tűz alakulásának állandó nyomon követése, monitorozása; valamint a tűz támadó jellegű oltását követő utómunkálatok közbeni, a parázsló részek utáni kutatás, a visszagyulladás megelőzését szolgáló információszerzés.

A fentiek kiegészítéseként ma már megkezdődött az aktív tűzoltásban, az ellenőrzött tüzek gyújtásában való közreműködés kidolgozása és megvalósítása is. A cikk egyes esetekben nem csak tűzoltó-taktikai, de gazdaságossági szempontokat is felvázolt az UAV hatékony alkalmazásának bemutatására és megítélésére.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] BLESZITY János, ZELENÁK Mihály: A tűzoltás taktikája. Tankönyv, BM Könyvkiadó, Budapest, 1989
- [2] RESTÁS Ágoston: Az erdőtüzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése. Ph.D. értekezés. ZMNE 2008
- [3] RESTÁS Ágoston: Robot Reconnaissance Aircraft. Előadás, UAVnet 9th Meeting, Amszterdam, Hollandia, 2004
- [4] IMREH Lajos: Tűzoltás a Kiskunságon, Kézirat, Forgószárny Kft., 2007
- [5] VLASZÁK Lajos: Légi tűzoltás; Kézirat, Erdők Védelméért Alapítvány, Matkó Airport, Kecskemét, 2001
- [6] RESTÁS Ágoston: A tűzoltásvezető döntéshozatali mechanizmusa. Védelem, VIII. Évfolyam 2. szám, Budapest, 28-30 oldal, 2001, ISSN: 1218-2958
- [7] PASTOR Enric (et al.): Project SKY-EYE, Applying UAVs to Forest Fire Fighter, Support and Monitoring; Department of Computer Architecture; Technical University of Catalonia, Spanyolország, 2008
- [8] RESTÁS Ágoston: UAV Applications From Aerial Patrol to Prescribed Fires; Wildfire2011 The 5th International Wildland Fire Conference, Sun City, South Africa, 9-13 May 2011
- [9] RESTÁS Ágoston: Statikus és dinamikus döntéstámogatás UAV alkalmazásokkal, Előadás, Robothadviselés 11 Tudományos Konferencia, 2011. november 24. Budapest



Dr. habil. Ványa László<sup>1</sup>

## KÉRDÉSEK ÉS VÁLASZOK A SZUPERTITKOS RQ-170 IRÁNI KÉZRE KERÜLÉSÉRŐL<sup>2</sup>

*Az Iráni Iszlám Köztársaság Hírugynöksége 2011. december 4-én bejelentette, hogy a hadsereg elfogott és leszedett egy amerikai lopakodó, pilóta nélküli repülőgépet. Az Iran Press TV közölte, hogy a szupertitkos amerikai Lockheed Martin RQ-170 Sentinel felderítő drónt mélyen iráni területen fogták el és csak kisebb sérüléseket szenvedett, amikor egy iráni elektronikai hadviselési egység sikeresen befogta. A következő néhány napban a világsajtó bemutatott egy videofilmet az RQ-170 Sentinelről és közzé tett egy sor találgatást egy „Avtobaza” típusú orosz elektronikai hadviselési zavaró állomásról. Ezen cikk célja, hogy az események áttekintése mellett lehetséges válaszokat találjon a találgatásokra.*

### **QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT STAY INTO IRANIAN HAND OF SUPER SECRET RQ-170**

*The official Iran Islamic Republic News Agency (IRNA) is reporting that national military forces have intercept and downed an American stealth unmanned air vehicle in 4-th of December 2011. Iran Press TV said the super secret US Lockheed Martin RQ-170 Sentinel reconnaissance drone was captured in deep of Iranian territory and sustained little damage when an Iranian electronic warfare unit successfully targeted it. In the next days the world press presented a video film about RQ-170 Sentinel and published a lot guesstimate about role of Russian Electronic Warfare Jamming station “Avtobaza”. Main goal of this article to summary the occurrences and find possible answers about guess.*

## BEVEZETÉS

2011. december 4-én járta körbe a világsajtót az a hír, hogy Irán leszedett egy amerikai pilóta nélküli repülőgépet 240 km mélyen, iráni területen. [1] Ebben a hírben már az is szerepelt, hogy a NATO elismerte egy repülőeszköz elvesztését. Először szlengnek gondolhatták a hír olvasói a „leszedett” kifejezést, amely a légvédelmi eszközzel való lelövésre kissé laza kifejezés, azonban az eredeti források sem a lelövés (shot down) szót használták az esetre, hanem a brought down – leszedést, lehozást. [2] Ez a momentum nem csak a világsajtó érdeklődését keltette fel, hanem a szakemberekét is, akik számára nyilvánvalóvá vált, hogy valami olyan új dolog történt, ami eddig talán még soha sem. Ugyanez a Washington Postban megjelent cikk említette meg azt is, hogy az amerikaiak a kézzel fogható bizonyítékok hiányára hivatkozva igyekeztek cáfolni a bejelentést, azt hangsúlyozták, hogy semmiféle ellenséges tűztevékenységre utaló jelet nem tapasztaltak.

Ezt támasztja alá egy iráni védelmi tisztségviselő is, aki egyenesen már azt mondta, hogy egy cybertámadás áldozata lett a repülőgép. Ezt megerősíti az az amerikai rövid közlemény,

---

<sup>1</sup> okl. mk. alez., egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Híradó, Informatikai és Elektronikai Hadviselés Tanszék, vanya.laszlo@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

amely hangsúlyozva, hogy egy fegyvertelen, felderítő pilóta nélküli repülőgépről van szó, amely nyugat Afganisztánban hajtott végre feladatot, elvesztette a kapcsolatot az operátorával, aki a továbbiakban nem tudta meghatározni a helyzetét.

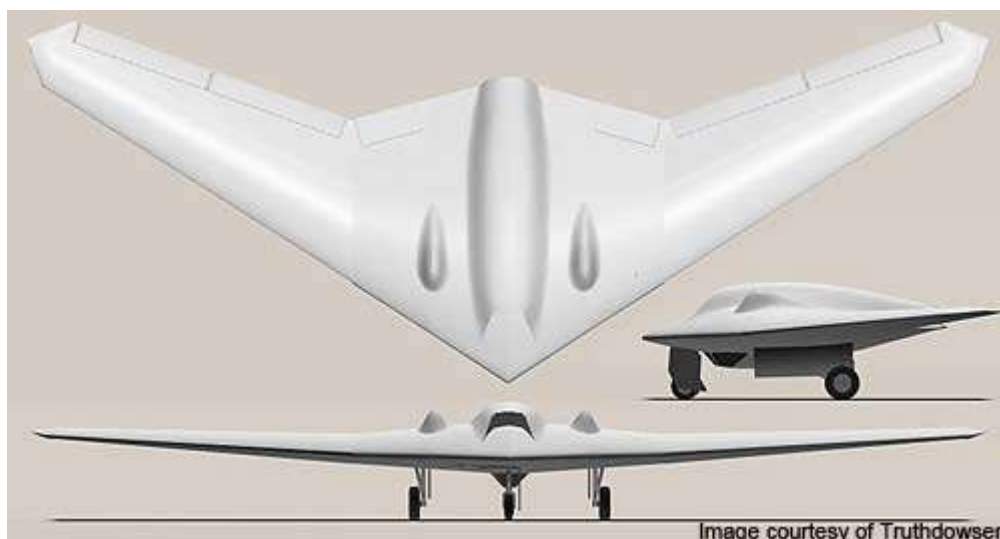
A híradásokban a küldetést illetően is ellentmondások vannak, hiszen az amerikaiak az afganisztáni műveletekben évek óta részt vevő Sentinelről mindvégig cáfolták, hogy iráni terület felett repült volna, ugyanakkor az iráni atomlétesítmények problémája kapcsán egyáltalán nem elképzelhetetlen, hogy a szomszédos Afganisztán felől berepült, kihasználva a magas technológiai színvonalon kialakított lopakodó repülési képességeket.

A szakértők számára a legfontosabb kérdés a cybertámadás lehetősége, ami ha iráni terület felett történt, akkor is kuriózum, de ha afgán terület felett és sikerült Iránba vezetni a gépet, akkor egyenesen óriási, mert mindezt igen nagy távolságról kellett végrehajtani.

Ugyanezen írásban [2] egy Pentagonból nyilatkozó szakértő lehetséges kommunikációs hibát említ, üzemanyag elfogyást, mechanikai hibákat, de a cybertámadást mereven elutasítja. A cybertámadásra a világsajtó előbb hackereket említ, majd csak később az iráni speciális elektronikai hadviselési alakulatot. Felmerült a kérdés: képes-e Irán ilyen színvonalú kódolt műholdas irányítórendszerbe úgy beavatkozni, hogy átvegye az irányítást és gyakorlatilag oda szállítsa le a repülőgépet, ahová akarja? Erre keressük a választ.

## AZ RQ-170 SENTINEL PILÓTA NÉLKÜLI FELDERÍTŐ REPÜLŐGÉP

Az airforce-technology.com on-line szakmai weboldal információi szerint az RQ-170 Sentinel nagymagasságú, nagy hatótávolságú pilóta nélküli repülőgépet a Lockheed Martin leányvállalata, a Skunk Works cég építette az amerikai légierő – US AIRFORCE – részére. A csupaszárny konstrukciójú sárkányszerkezet hasonlít az RQ-3 Darkstar-hoz (1. kép).



1. kép Az RQ-170 Sentinel [3]

A szárnyvégek távolsága 27,43 m, a teljes magassága 1,82 m. A szerkezet 90 %-a kompozit anyagokból áll, ami jelentősen csökkentette az össztömeget. A felület formája és az alkalmazott anyagok a lopakodó – stealth technológiájú repülőgépekre jellemző, ami azt jelenti, hogy

adott hullámhosszon dolgozó rádiólokátorok hatásos felderítési távolsága jelentősen csökkent, ami nem zárja ki a rádiólokátorokkal való felderíthetőséget, csak jelentősen korlátozza azt. Ismételten ki kell hangsúlyozni, hogy nincs „láthatatlan” repülőgép, csak az adott hullámhosszon mérhető hatásos visszaverő felület csökkenéséről van szó. Ez nem zárja ki azt, hogy mondjuk egy méteres hullámhosszon dolgozó rádiólokátor számára nem deríthető fel jóval távolabbról, mint ahogy az a jugoszláviai háborúban lelőtt F-117-es esetében is történt.

A megnevezésében lévő RQ jelzés a reconnaissance – felderítő rendeltetésre utal. Afganisztánban először 2007-ben szállt fel titokban a kandahari amerikai légi bázisról. A [3] forrás szerint 2009 decemberében lepleződött le a léte és afganisztáni jelenléte, ugyanekkor a Dél-Koreai JoongAng Daily újság is lehozta, hogy az RQ-170 Dél-Korea felett is kísérleti repülést hatott végre az U-2 leváltására az Osan légibázisról.

Fő feladata felderítési, megfigyelési, célmegjelölési célokból (ISTAR) valós idejű képi felvételek, mozgóképek készítése és továbbítása a földi vezetési pontra (GCS). Műholdas kommunikáció köti össze a földi irányító állomással. A látható fénytartományú mellett infravörös kamerája, szintetikus apertúrájú radarja és jelfelderítő (SIGINT) berendezése is van.

Az irányítása történhet a földi irányító állomásról, vagy repülhet automatikusan. Az automatikus fel- és leszállító rendszer (ALR - automatic launch and recovery system) a kommunikációs kapcsolat megszakadása esetén biztonságosan képes leszállítani a Sentinelt. A meghajtásról a General Electric TF34 turbo hajtóműve gondoskodik, amely 41 kN tolóerőt képes előállítani.

2011. december 8-án az iráni Network 1 televíziós csatorna leadta az első felvételt, amelyen vélhetően a földre lehozott RQ-170 látható. [4] Semmilyen felségjel nincs rajta, láthatóan nem sérült oly mértékben, mint amikor akár egy légvédelmi eszköz miatt, vagy az üzemanyag elfogytával lezuhant volna. (2. kép)



2. kép A zsákmányolt RQ-170-ről a világot bejárt video [4]

Érdekes módon, az amerikaiak nem léptek elő bizonyítékok, érvek sokaságával, amivel megpróbálták volna cáfolni a felvétel valóságát. Egyes szakértők szerint a levegő beömlő nyílá-

son látható rács nem szokásos az amerikaiaknál, a festés színével sem voltak megelégedve, illetve az állvány elejére elhelyezett molinók miatt nem látható a futóművek állapota. [5] Megkockáztatták, hogy a felvételeken nem is az amerikai, hanem egy iráni utánépítés látható, mivel Irán sok éve folytat kísérleteket pilóta nélküli repülőgépekkel.

Ez kevésbé hihető és nagy színházi rendezésre lenne szükség, ha egy kész saját klónt egy elvesztett amerikai gép helyett húznának elő, mint annak bizonyítékát, hogy képesek feltörni az amerikai kommunikációt és elvenni a repülőgépeiket, amikor csak akarják. De ilyet nem állítanak az iráni vezetők. Arról azonban, hogy hasonló technikai színvonalú eszközöket képesek lesznek előbb-utóbb előállítani már december 12 körül nyilatkozott az Iráni Parlament Nemzetbiztonsági Bizottságának elnöke. Az AFP hírügynökség szerint Parviz Sorouri kijelentette, hogy Irán képes mérnöki lemásolni (reverse-engineering) a zsákmányolt amerikai drónt, feltörni a fedélzeti rendszerek szoftvereinek titkait, így a közeli jövőben Irán képes lesz nagy mennyiségben ilyen csúcstechnológiájú gépek gyártására. Ő is azt állította, hogy a Forradalmi Gárda cyberhadviselési egysége törte fel az irányítórendszert.

Arra az állításra, hogy Irán egymaga képtelen lenne erre technikailag, azt válaszolta, hogy pedig ehhez sem Oroszország, sem Kína segítségére nincs szükség. [6] Ma már megállapíthatatlan, hogy ez a kijelentés, vagy korábbi katonai segítségnyújtások okán, de ebben a történetben is megindult a fejtörés, milyen szerepe lehet Oroszországnak, vagy Kínának?

Ugyanekkor az is nyilvánvalóvá vált, hogy Irán nem szándékozik visszaadni az Egyesült Államoknak a Sentinelt. A félhivatalos Fars hírügynökség azt közölte, hogy Hossein Salami tábornok, a fegyveres erők parancsnok helyettese szerint: „*Egyetlen ország sem örül egy másik ország kémrepülőgépének a területe felett és egy ország sem adja azt vissza az információkkal*”. [7] A tábornok szerint mindegy, hogy hova tartozik a gép eredetileg, mely ország, vagy csoport küldte, hogy betörjön az ország légterébe.

És ekkor felbukkant a nemzetközi és a hazai sajtóban, elektronikus forrásokban egy orosz szál: az RQ-170 „leszedése” előtt mintegy másfél hónappal Irán Oroszországtól kapott egy Avtobaza nevű állomást, amely lehetővé tette ezt a műveletet. Nézzük, miről is van szó!

## AZ AVTOBAZA ÁLLOMÁS

Régi igazság, hogy egy forrás nem forrás, pláne, ha egy ügy érdekében kegyes csúsztatások is elhangzanak, mert különben nem áll össze a történet. Nézzünk néhány forrást! Előre kell bocsájtanom, hogy a legeslegritkább esetben jelenik meg a megjelent sajtóhírekben az eredeti információ forrása, ami alapján pl. az adott portál kiteszi a jól értesültségét mutató hírt. A haborumuveszete.hu (Art of War), amúgy sokak által olvasott magyar nyelvű katonai kérdésekkel foglalkozó portál, majd rá hivatkozva egy sor magyar rádió is közreadta, hogy: „*Nyugati tömegtájékoztatási eszközök – amelyek korábban tagadták az információt – most arról számoltak be, hogy az iráni rádióelektronikai védelem megsemmisített egy amerikai, Lockheed Martin RQ-170 Sentinel típusú pilótánélküli repülőgépet. A legfrissebb információk szerint a pilótánélküli repülőgépet egy orosz gyártmányú, „Avtobaza” típusú komplexum segítségével kényszerítették földre, amelyet a közelmúltban rendszeresítettek az iszlám államban.*” [8]

A hír első mondata már egy komoly félrefordítás, félreértés, mert a nyugati sajtó soha nem használta azt a kifejezést, hogy „*az iráni rádióelektronikai védelem megsemmisítette...*” de aki ezt leírta, az sincs tisztában a rádióelektronikai védelem szó jelentésével. A szerző valamilyen légvédelmi rendszernek képzelel el, de most erről szó sincs. A híradásokban tényleg volt szó arról, hogy egy elektronikai hadviselési egység, más helyen - egy cyberhadviselési egység hajtotta végre az akciót. Ezek azonosnak is tekinthetők, ugyanazt a köteléket jelentheti, csak annyi különbség van, hogy vannak olyan országok, amelyek már eljutottak arra fejlődési szintre, hogy terminológiailag megkülönböztetik a cybertérben zajló akciót az elektromágneses térben harcoló elektronikai hadviselési egységek tevékenységeitől.

A számunkra érdekesebb mondat a második: „... *a pilótánélküli repülőgépet egy orosz gyártmányú, „Avtobaza” típusú komplexum segítségével kényszerítették földre, amelyet a közelmúltban rendszeresítettek az iszlám államban.*” Ne menjünk bele abba se, hogy ha egy külföldi haditechnikai eszközt hat héttel az ominózus eset előtt szállítanak le egy országba, az még biztosan nincs rendszeresítve, legalábbis a mi fogalmaink szerint nincs, legfeljebb alkalmazásban. A lényeg az „Avtobaza” nevű komplexum, ezen a szalon el lehet indulni. És most kezdődik még csak a zűrzavar java!

A cikk így folytatódik: „*Az iráni hadsereg 1L222 „Avtobaza” típusú, rádiótechnikai felderítő komplexumot helyezett üzembe. A komplexumot az iráni nukleáris objektumok elleni, esetleges légicsapás megelőzésére nem lehet alkalmazni, mivel zavarhatja a telepített légvédelmi rakétakomplexumokat.*” Állj! Az első mondatban rádiótechnikai felderítő komplexum szerepel, a második szerint zavarhatja a légvédelmi eszközöket. A rádiótechnikai felderítő állomások – az angolszász terminológiában ELINT (electronic intelligence – elektronikai felderítő) eszközök, nem rendelkeznek adó berendezéssel, vagy ha igen, akkor azok zavaró állomások, jammerek, amelyek felderíteni is képesek, de azokat soha nem nevezik ELINT állomásnak, illetve rádiótechnikai felderítő állomásnak.

„*A mobil „Avtobaza” komplexum elsődleges feladata a rádióelektronikai lefogás. A berendezés jól használható különféle radarállomások észlelésére, valamint nagyszerűen alkalmazható olyan kommunikációs rádiócsatornák felderítésére, amelyeket többek között pilótánélküli repülőgépeknél alkalmaznak. Ezt az iráni példa is nagyszerűen példázza. Vasárnap az iráni „Pressz-TV” televíziós csatorna számolt arról, hogy Irán keleti határvidékén a légvédelmi erők megsemmisítettek egy amerikai pilótánélküli felderítő repülőgépet.*” folytatódik a cikk. Itt megint komoly kétségek merülnek fel, ismerve az orosz zavaróállomás koncepciókat. Ha az „Avtobaza” feladata a rádióelektronikai lefogás, akkor mégsem felderítő komplexum. A radarzavarás mellett „nagyszerűen” tud kommunikációs csatornákat is zavarni, ami műszakilag lehetséges, ha műholdas kommunikációs sávokról van szó. A következő mondatot, miszerint „*a légvédelmi erők megsemmisítettek egy amerikai pilóta nélküli felderítő repülőgépet*” már nem minősítem, mert éppen az a fontos, hogy nem a légvédelem és nem megsemmisítette a Sentinelt. A cikk írója úgy tűnik, nem ért az egészből semmit.

Nézzünk utána, mi is ez az állomás?

A Rosoboronexport orosz haditechnikai eszközök külkereskedelmével foglalkozó cég adatlapja szerint [9] az „Avtobaza” Ground-based Executive ELINT System, vagyis földi telepíté-



sű ELINT, azaz rádiótechnikai felderítő állomás. (3. kép) Rendeltetése: repülőgép fedélzeti oldalfelderítő lokátorok, levegő-föld tűzvezető lokátorok és kismagasságú repülést biztosító lokátorok felderítése és adatok szolgáltatása az 1L125M APUR<sup>3</sup> részére.



3. kép Az 1L222 „Avtobaza” rádiótechnikai felderítő állomás [10]

A komplexum az URAL-43203 gépjárműre épülő műszeres és egy URAL-4310 gépjárműre épülő ED2x16-T230P-1VAS áramforrás gépkocsiból áll.

A rádiótechnikai felderítő rendszer TV monitoron jeleníti meg a befogott cél jellemzőit, oldalszög- és helyszög adatait, a kisugárzott jelek paramétereit – a vivőfrekvenciát, az impulzus hosszát, az impulzus ismétlődési frekvenciáját és a lokátor besorolását (oldalfelderítő, tűzvezető, vagy kismagasságú repülést biztosító). Az APUR automatizált zavarirányító központ szögkoordináta céladatokkal látja el a frekvencia sávnak megfelelő zavaró állomásokat.



4. kép. Az 1L222 „Avtobaza” rádiótechnikai felderítő állomás [10]

<sup>3</sup> Az APUR - автоматизированный пункт управления роты – század automatizált vezetési pont, más kifejezéssel, zavarirányító központ.



#### **Főbb harcászati-technikai adatai: [10]**

- hatótávolság: 150 km;
- frekvenciatartomány: 8.000-17.544 MHz;
- működési szögterület: 360 fok oldalszögben, 18/30 fok helyszögben az A,B/V sávban;
- egyidejűleg követett célok száma: max. 60;
- telepítési/bontási idő < 25 min.;
- teljesítményfelvétel < 12 kW;
- személyzet: 4 fő.

A leírások alapján megállapítható, hogy az „Avtobaza” állomás önmagában semmiképpen nem zavaró állomás, adóberendezést sem tartalmaz. A pilóta nélküli repülőgépek kommunikációs jeleinek vételére azonban alkalmas lehet a frekvenciatartománya okán, azonban ezek analizálásához, a kódolás feltöréséhez mindenképpen további digitális jelfeldolgozásra, jelrögzítésre, utófeldolgozásra van szükség. Ez az állomás adott célfeladatra történő „továbbfejlesztésével” megvalósítható.

A zavaróállomásokra vonatkozó elméleteket mindenképpen kidobhatjuk, mivel ezek a lokátor zavaró állomások zajjal manipulált, impulzusmodulált követő, vagy megelőző-követő zavarokat, illetve kvázi folytonos zajzavart állítanak elő, ami az intelligens irányítórendszerbe való belépésre és ott hamis parancsok bevitelére teljesen alkalmatlanok. Nem helytálló tehát az a feltevés sem, hogy esetleg a nemzetközi sajtóban csak a felderítő állomás iráni exportja került be, de a rendszer többi elemét is átadhatták titokban. Ehhez a feladathoz nem jók azok az állomások.

## **KÖVETKEZTETÉSEK**

A sajtóhíradások alapján, mint látható, a valóság nemigen deríthető ki. Vannak események, amelyek megtörténtét is mindenki másként állítja be, különösen, ha abból titkolnivalója, vagy szándékoltan elferdíteni valója van. Néhány dolog a tényszerű forrásokra támaszkodva cáfolható, vagy valószínűsíthető, de még messze vagyunk a bizonyosságtól. Annál is inkább nehéz a dolog, mivel azóta is újabb és újabb változatok, elképesztő teóriák láttak napvilágot. Csak egyet példaként: Mehran Tavakoli Keshe, az 1958-ban, Iránban született röntgen mérnök, a Keshe Foundation [11] tulajdonosa azt állítja, hogy Irán egy elképesztően úttörő űrtechnológiai eredmény birtokában a Sentinel repülés közben egy erőterrel befogta és földre szállította. [12]

Minden esetre, ha igaz lenne az a változat, hogy sikerült egy pilóta nélküli repülőgép kódolt, műholdas rádiókapcsolatába olyan szofisztikált módon beavatkozni – és még egyszer hangsúlyozom, nem megzavarni – hogy más parancsoknak engedelmessé elhagyja a saját irányító állomását és pl. leszálljon az így megadott helyen, az óriási technikai bravúr volna. Ugyanakkor az sem lehetetlen, hogy a valóságban egy műholdas, de nem erősen kódolt irányítójelet kellett csak leküzdeni, mert a konstruktőrök fel sem tételezték, hogy valaki megpróbálja lehallgatni, feltörni és kicserélni az irányító jeleit. Az idő talán megadja a választ.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Index, MTI: Irán leszedett egy amerikai drónt.  
[http://index.hu/kulfold/2011/12/04/iran\\_lelott\\_egy\\_amerikai\\_dront/](http://index.hu/kulfold/2011/12/04/iran_lelott_egy_amerikai_dront/) (2011. 12. 04.)
- [2] Greg JAFFE, Thomas ERDBRINK: Iran says it downed U.S. stealth drone; Pentagon acknowledges aircraft downing. [http://www.washingtonpost.com/world/national-security/iran-says-it-downed-us-stealth-drone-pentagon-acknowledges-aircraft-downing/2011/12/04/gIQAyxa8TO\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/world/national-security/iran-says-it-downed-us-stealth-drone-pentagon-acknowledges-aircraft-downing/2011/12/04/gIQAyxa8TO_story.html) (2011. 12. 05.)
- [3] Sz.n.: RQ-170 Sentinel Unmanned Aerial Vehicle, United States of America <http://www.airforce-technology.com/projects/rq-170-sentinel/> (2012. 03. 25)
- [4] The first video of the American RQ-170 Drone downed by iran.  
<http://www.youtube.com/watch?v=M9sKD2jm45o> (2012. 03. 25.)
- [5] Sz.n.: Filmen az Iránban lelőtt RQ-170-es? <http://iho.hu/hir/filmen-az-irani-rq-170-es-111208> (2012. 03. 25.)
- [6] AFP: Iranian MP: We will reverse-engineer US drone. [http://www.yourmiddleeast.com/news/iranian-mp-we-will-reverseengineer-us-drone\\_3456](http://www.yourmiddleeast.com/news/iranian-mp-we-will-reverseengineer-us-drone_3456) (2012. 03. 25.)
- [7] CNN Wire Staff: General: Iran won't return U.S. drone it claims to have. [http://articles.cnn.com/2011-12-11/middleeast/world\\_meast\\_iran-us-drone\\_1\\_spy-drones-rq-170-unmanned-aircraft?\\_s=PM:MIDDLEEAST](http://articles.cnn.com/2011-12-11/middleeast/world_meast_iran-us-drone_1_spy-drones-rq-170-unmanned-aircraft?_s=PM:MIDDLEEAST) (2012. 03. 25.)
- [8] Háború Művészete (szerk@artofwar.hu) - TopWar: Orosz segítséggel kényszerítették földre Iránban az amerikai Sentinelt.  
[http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/hirek/orosz\\_segitseggel\\_kenyseritettk\\_foldre\\_iranban\\_az\\_amerikai\\_sentinelt/?print](http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/hirek/orosz_segitseggel_kenyseritettk_foldre_iranban_az_amerikai_sentinelt/?print) (2012. 03. 25.)
- [9] ABTOBAZA. Rosoboronexport katalógus EW, ELINT AND COMMUNICATION SYSTEMS p. 80.  
[http://www.roe.ru/catalogue/air\\_def/air\\_def\\_78-81.pdf](http://www.roe.ru/catalogue/air_def/air_def_78-81.pdf) (2012. 03. 25.)
- [10] KOPP, Carlo: Warsaw Pact / Russian / PLA Emitter Locating Systems / ELINT Systems  
<http://www.ausairpower.net/APA-Warpac-Rus-PLA-ESM.html> (2012. 03. 25.)
- [11] Keshe Foundation: <http://www.keshfoundation.com/en/introduction/mehran-tavakoli-keshe> (2012. 03. 25.)
- [12] Spencer ACKERMAN, Noah SHACHTMAN: Iran's Flying Saucer Downed U.S. Drone, Engineer Claims  
<http://www.wired.com/dangerroom/2012/01/iran-ufo-drone/> (2012. 03. 25.)



Dr. Bottyán Zsolt<sup>1</sup> – Tuba Zoltán<sup>2</sup>

## FELÜLETI JEGESEDEST OKOZÓ IDŐJÁRÁSI HELYZETEK STATISZTIKAI VIZSGÁLATA ÉS A JÉGAKKRÉCIÓ BECSLÉSE PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖK (UAVs) ESETÉBEN<sup>3</sup>

*A pilóta nélküli repülőeszközök méretükénél és egyéb jellemzőiknél fogva fokozottan érzékenyek a repülésre veszélyes időjárási jelenségekre. Az egyik legfontosabb ilyen jelenség a jegesedés, amely a megfelelő elővigyázatosság, a modern jégtelemítő és a jegesedést megelőző berendezések használata ellenére is potenciális veszélyforrást jelent. Tanulmányunkban az egyes jegesedési események azonosításához egy adatbázist hoztunk létre, amelyet a Péczy-féle makroszintoptikus helyzetekkel összevetve, meghatároztuk azokat a tipikus időjárási szituációkat, melyek jelentős felületi jegesedést okozhatnak. Külön figyelmet szenteltünk az alacsony magasságú (2000 méter alatti) zónában előforduló jegesedési szituációkra, melyek a SUAV-k és nagyobb hatótávolságú UAV-k üzemeltetése szempontjából egyaránt fontosak. Az adatbázisban előforduló alacsony szintű jegesedési szituációkra vonatkozóan a felületi jegesedés intenzitására és geometriájára vonatkozóan is adunk becslést egy konkrét UAV típus esetében, figyelembe véve az FAA ajánlásokat is.*

### **STATISTICAL ANALYSIS OF WEATHER SITUATIONS WITH STRUCTURAL AIRCRAFT ICING AND ESTIMATION OF ICE ACCRETION ON UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)**

*The unmanned aerial vehicles are increasingly reactive to dangerous weather phenomena because of their size and other characteristics. The aircraft structural icing is one of the most important, which can be a potential threat for the aircraft in spite of the anti-icing and ice protection systems. In our study we built a database to identify the icing events. Then we set them against the connected Péczy's macrosynoptic types and we selected the suitable weather situations for significant structural icing. We highlighted the low level (under 6000') icing events, which are more important respect of the maintenance of (small) unmanned aerial vehicles. In a case study, which is based on a low level icing event in our database, we gave an estimation of the ice accretion and geometry on a concrete type of UAV considering the recommendation of FAA.*

## BEVEZETÉS

A repülőeszközök felületi jegesedése régóta ismert jelenség, melynek során a repülőgépek, helikopterek felületén jég akkumulálódik, megzavarva a repülés számos folyamatát. Magának a jégfelület kialakulásának, a repülésre gyakorolt hatásainak és a jéglerakódás becslésének áttekintéséhez számos korábbi tanulmány áll rendelkezésre. [1][2]

A pilóta nélküli repülőeszközök (továbbiakban UAV-k) esetében azonban néhány eltérő szempontot is figyelembe kell vennünk, amikor a keletkező jégakkréció hatásait valamint becslését szeretnénk elvégezni. Az egyik lényeges momentum, hogy az UAV-k döntő többsége nem rendelkezik

<sup>1</sup> szds., egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>2</sup> MH 86. Szolnok Helikopter Bázis

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Wantuch Ferenc, repülésmeteorológia szakértő, Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.f@gmail.com

jégtelenítő berendezéssel (anti-icing), így a repülés közbeni védelem nem megoldott! Ebből az következik, hogy a kezelő személyzetnek (UAV pilóta, specialista stb.) távolról kell úgy vezetnie a repülőgépet, hogy az ne kerüljön jegesítő kondíciók közé. Másrészt, az UAV-k szárnykialakításánál figyelembe vett szárnyprofilok karcsúak, nagy görbülettel rendelkeznek a belépőélnél, ezáltal felhőben repülve nagy hatékonysággal gyűjtik a felületen kifagyó túlhűlt vízcseppeket. [3]

Mindenképpen szükséges tehát egy meteorológiai támogatás, mely lehetővé teszi a kezelő személyzet részére a repülési feladat és eszköz függvényében történő döntés meghozatalát a repülés végrehajtására vonatkozóan (indulási meteorológiai feltételek). Ugyanakkor, az időjárás a repülési feladat időtartamától és helyétől függően gyors változásokat produkálhat térben és időben egyaránt, ami a repülés alatti várható légköri viszonyok minél pontosabb ismeretét kívánja meg az irányító személyzet részére (repülés alatti meteorológiai feltételek).

Az UAV-k meteorológiai támogatásának egyik fontos pillére, az adott földrajzi helyre vonatkozó minél pontosabb éghajlati ismeretanyag bevonása az előrejelzések készítésébe. Ennek számos módszere ismert a szakirodalomból. Munkánkban a Kárpát-medencére, Péczely György által definiált makroszinoptikus helyzetek és a repülőgépek által szolgáltatott jegesedési adatok összevetését végeztük el valamint a kisebb méretű SUAV-k repülési magasságában előforduló konkrét jegesedési szituációban történő jégakkréció becslését adjuk meg konkrét repülőeszközre vonatkozóan. [4]

## ADATBÁZIS

A jegesedéses események kiválasztásához ún. PIREP táviratokat használtunk fel. A PIREP távirat a repülőgép személyzete által kiadott jelentés, amely az aktuális meteorológiai feltételekhez kapcsolódó, a repülések szempontjából releváns információkat tartalmaz. Általában az alapinformációt rádiólevelezés útján továbbítják, majd a földi kiszolgálás a megfelelő formátumban folytatja a terjesztését. Ezekben a speciális jelentésekben általában a repülési szaknyelvben, valamint a repülésmeteorológiai táviratokban és jelentésekben is megtalálható rövidítések használatosak, de esetenként szabadszavas leírással is találkozhatunk bennük.

A rendelkezésre álló időszakokból (2006.01.01-02.07.; 2008.06.05.-2008.12.23.; 2009.04.17-2010.12.30.) összesen 436 darab távirat került feldolgozásra, amelyek közül 139 darab tartalmazott jegesedéssel kapcsolatos információt. Ez a 139 távirat 84 jegesedéses napon<sup>4</sup> került forgalomba. Egy-egy ilyen kapcsolódó távirat az esetek többségében a következő információkat tartalmazza: a jelentés ideje, a jegesedési réteg aljának és tetejének magassága, a jegesedés erőssége és helye. (pl: 2010-12-15 18:04:52 | AIR REPORT SPECIAL AT 1802 MODERATE ICING BETWEEN 2500FEET AND 5500FEET IN TERMINAL CONTROL AREA BY BOEING 737) Az összes jegesedéssel kapcsolatos PIREP 88%-ában, 122 esetben volt egyértelműen meghatározva a jegesedési réteg alja és teteje. 2 esetben egyáltalán nem volt megadva magasság, míg a

---

<sup>4</sup> Olyan naptári nap, amikor legalább 1 db jegesedést jelentő PIREP távirat került kiadásra Budapest FIR-ben.

maradék esetekben egyetlen érték szerepelt a jelentésben. 7 esetben nem volt megadva a jegesedés helye, míg 98 esetben a TMA<sup>5</sup>-n belül észlelték.

A PIREP-ekből kinyerhető információk felhasználásával egy adatbázis került kialakításra, amely a korábbiakban már említett adatok mellett tartalmazza az adott naptári napokra vonatkozó Péczely-féle makroszinoptikus tipizálás kódjait, valamint a PIREP táviratot megelőző és az azt követő rádiószonda felszállás vonatkozó magassági mérési adatait is. A szonda által mért adatok szinkronizálásra kerültek az egyes jegesedési rétegekkel, mégpedig úgy, hogy az adatbázisban a jegesedési rétegben és annak 300 lábas környezetében található főizobárszinti és szignifikáns szintbeli mérési adatok kerültek megjelenítésre. Amennyiben az adott réteghez kapcsolódóan a felszállásból csak egy adat állt rendelkezésre, akkor csak az került felhasználásra, ha pedig a jegesedési réteg 300 lábas távolságán belül nem volt mérési adat, akkor lefele és felfele is az első elérhető adat lett figyelembe véve. Ez minden esetben olyan környezeti mérési adatokat biztosít az adatbázisnak, amelyek a TEMP táviratok összeállítási módszeréből adódóan legalább az egyik szintben reprezentatívak lesznek, ha a környezet jól jellemezte a jegesedés környezeti feltételeit.

dátum	pirep ideje	jegesedés erőssége	alja	teteje	helye	felszállás ideje	Péczely	Péczely alkalmi	Péczely napi	HGHT feet	TEMP C	RELH %	osztályozás
2010.03.11	21:35	mod	4000	4000	frnal	12:00	5	5	5	3051	-4,5	91	1
2010.03.11	21:35	mod	4000	4000	frnal	24:00	5			4056	-6,5	95	0
2010.03.11	21:35	mod	4000	4000	frnal	12:00	5			4355	-7	89	1
2010.03.13	12:21	mod	6000	7000	tca	12:00	2	2	2	6554	-9,9	94	0
2010.03.13	12:21	mod	6000	7000	tca	12:00	2			6587	-9,9	94	0
2010.03.13	12:21	mod	6000	7000	tca	24:00	2			7234	-12	86	1
2010.04.05	9:42	sev		12000	?	12:00	1	1	1	11685	-9,2	95	0
2010.04.05	9:42	sev		12000	?	0:00	1			12226	-11,6	87	1
2010.04.05	9:42	sev		12000	?	12:00	1			12952	-11,9	94	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2	2	2	4952	-1,5	86	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			5088	3,4	65	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2			6027	-4,3	94	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			6080	0,8	68	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2			6312	-4,8	94	0
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			7008	-1,7	71	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			7443	-2,3	55	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	0:00	2			8511	-3,7	29	3
2010.04.10	11:55	mod	5000	10000	tca	12:00	2			8580	-9,2	91	0

1. ábra Az adatbázis egy részlete

Ekkor minden kigyűjtött jegesedési eseményhez két-két felszállás adatai voltak hozzárendelve. Az egyes időjárás-situációk jegesedéssel kapcsolatos sajátosságaiból és az időjárás természetes időbeli változásából adódóan azonban gyakran csak az egyik felszállás, sőt esetenként még az egyik sem reprezentálta megfelelően a jegesedési feltételeket. Ahhoz, hogy a jegesedés környezeti feltételeit a lehető legpontosabban reprodukálják, a megfelelő statisztikai vizsgálatok elvégzésére is alkalmas adatsort hozunk létre, szükség volt a nem megfelelő adatok kiszűrésére. Ennek megfelelően az adatbázis adatai attól függően, hogy mennyire reprezentálták az észlelt jegesedés feltételeit az adott rétegben, szűrésre, osztályozásra kerültek. Ezt a következők szerint végeztük: először az adott jegesedési eseményhez kapcsolódó két felszállás közül került kiválasztásra az, amelyik jobban reprezentálta a jegesedés feltételeit. Itt reprezentatív körülmények alatt az önké-

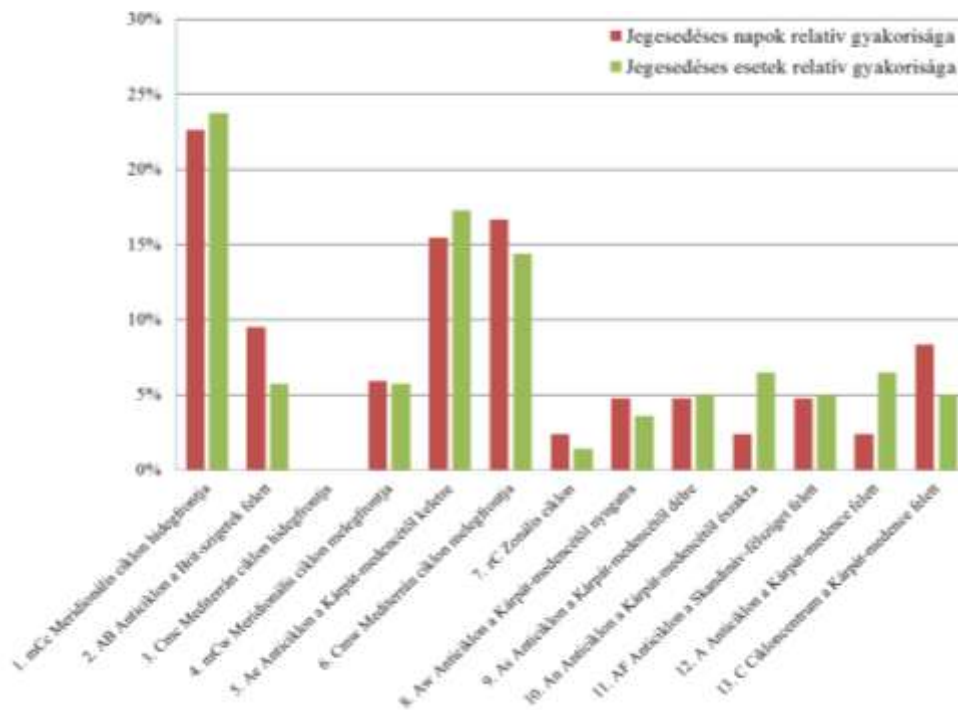
<sup>5</sup> Terminal Manouvering Area, vagyis a légitforgalmi irányításnak a repülőtér körzetében kijelölt területe, LHBP esetében egy kb. 90 km átmérőjű szabálytalan kör.

nyesen kiválasztott 80%-os relatív nedvesség feletti és a 0°C alatti értékek együttes előfordulását értjük. A felszállások kiválogatása után a jegesedési rétegre vonatkozóan rendelkezésre álló összes adat osztályozásra került. Ez alapján az adatok a következő négy osztály valamelyikébe kerültek besorolásra:

- 0 – kiválasztott felszállásban szerepel és a felszállás nagy részben vagy teljes egészében megfelelően, valamint az adott adat is megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh > 80\%$ ,  $T < 0^\circ\text{C}$ );
- 1 – nem kiválasztott felszállásban szerepel, a felszállás nagy részben vagy teljes egészében megfelelően, valamint az adott adat is megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh > 80\%$ ,  $T < 0^\circ\text{C}$ );
- 2 – a felszállás nagy részben megfelelően, de az adott adat nem megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh < 80\%$ ,  $T > 0^\circ\text{C}$ );
- 3 – elvetett felszállásban szerepel, sem a felszállás összességében, sem pedig az adott adat nem megfelelően reprezentálja a jegesedési feltételeket ( $rh < 80\%$ ,  $T > 0^\circ\text{C}$ ).

## MAKROSZINOPTIKUS HELYZETEK VIZSGÁLATA

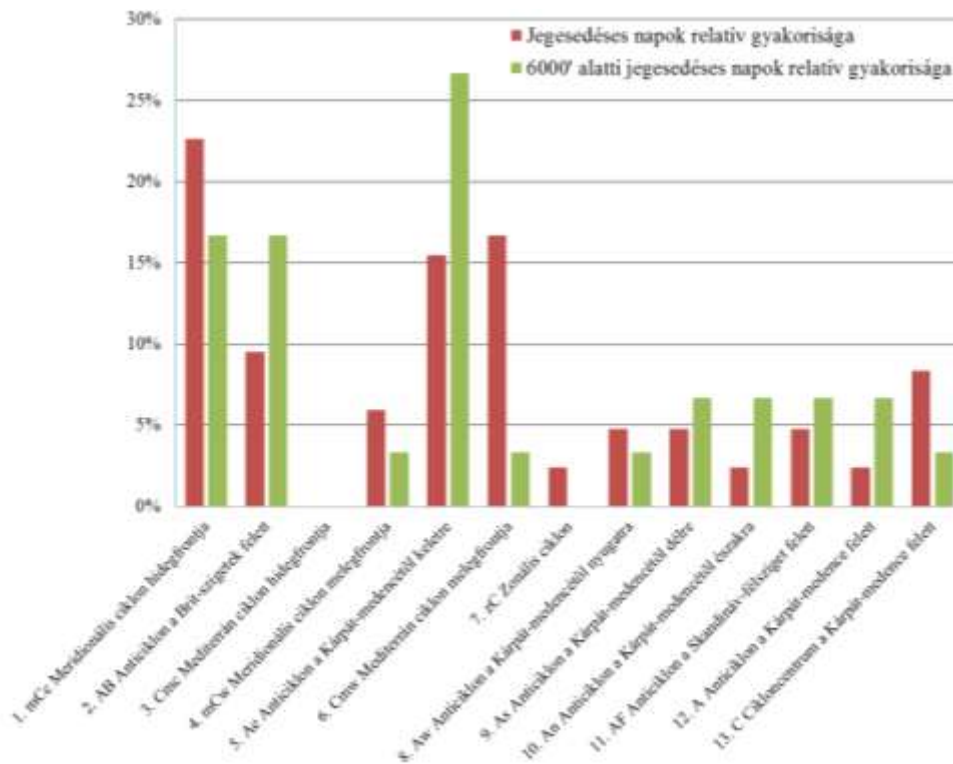
Mielőtt a tényleges eredmények ismertetésére és értelmezésére rátérnénk, tisztáznunk kell, hogy a rendelkezésre álló adatok alapján és a szubjektív, empirikus észlelési metodika miatt, a vizsgálati következtetéseket csak egy logikai irányban tudtuk megtenni.



2. ábra A jegesedéses napok és esetek relatív gyakorisága az egyes Péczely-féle makroszinoptikus időjárás helyzetekben

Ez alatt azt értjük, hogy míg pozitív észlelési esemény (pl.: jegesedést detektáltak) előfordulása-  
kor biztosak lehetünk abban, hogy az esemény bekövetkezett, addig az ellenkező esetben (pl.  
nem érkezett jelentés jegesedésről) nem egyértelmű, hogy nem fordulhatott elő. Mivel a jegese-  
dés mérése, észlelése tapasztaláson alapuló módszerek alkalmazásával történik, ezért a közeljö-  
vőben a fent említett logikai irányban változás nem várható. Ebből következik, hogy a mérési  
adatok olyan részletes statisztikai elemzésére, mint amilyen a távérzékeléssel felderíthető időjárá-  
si jelenségek (pl.: zivatartevékenység) esetében lehetséges, egyelőre nem vagy csak erősen egy-  
szerűsítő feltételekkel valósítható meg.

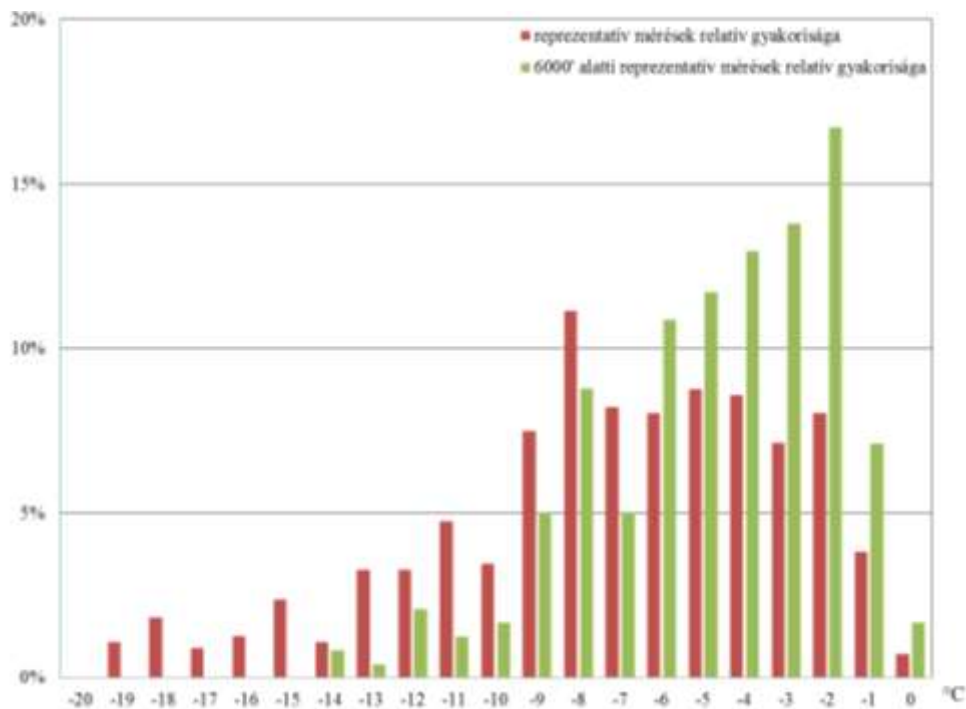
Az 2. ábrán első ránézésre kitűnik, hogy az összes jegesedéses nap több, mint 50%-át mindössze 3  
makroszinoptikus időjárási szituáció adja. Ezek közül kettő ciklonális (*mCc*, *Cmw*), egy pedig  
anticiklonális (*Ae*) helyzetet reprezentál. A ciklonális esetek mindegyike meridionális irányítottságot  
jelent, ami a lehetséges erős hőmérsékleti advekciónak miatt a potenciális jegesedés feltételeinek kedvez.  
Az anticiklonális *Ae* szituáció pedig a téli félévben a hideg légpárnás időjárási helyzet kialakulását  
segítheti, lehetőséget teremtve ezzel egy vastag, alacsonyszintű stratus felhőzet létrejöttének. Ameny-  
nyiben a 2. ábrán zöld színnel jelölt jegesedéses esetek relatív gyakoriságának eloszlására tekintünk,  
észrevehető, hogy az *An* és *A* makroszinoptikus helyzetekben a jegesedéses napok relatív gyakorisá-  
gához képest több, mint kétszeresére nőtt. Ez arra vezethető vissza, hogy mindkét szituáció kedvez a  
korábban említett hideg légpárnás helyzetnek, amelyben annak stabilitása és így permanens volta  
miatt nagyobb valószínűséggel fordul elő napon belül többször jegesedési esemény.



3. ábra A jegesedéses napok és a 6000' alatti jegesedéses napok relatív gyakorisága az egyes Péczy-féle makroszinoptikus időjárási helyzetekben



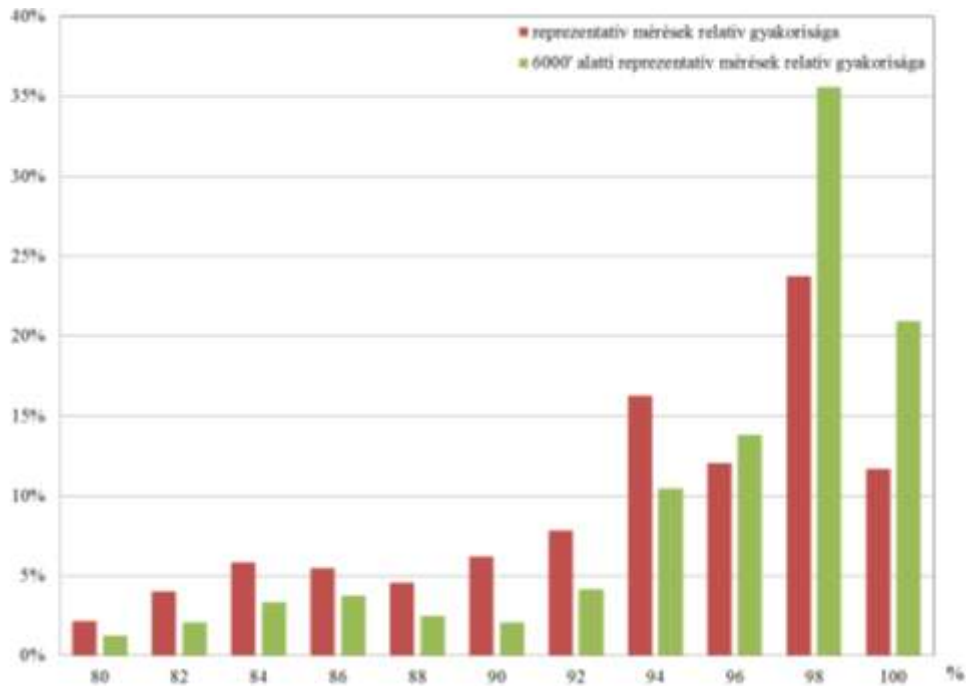
A 3. ábrát megvizsgálva látható, hogy az alacsonyabb szinteken (<6000') előforduló jegesedéses napok relatív gyakorisága jelentősen eltérő képet mutat a jegesedéses napok hasonló jellemzőjéhez képest. A ciklonális szituációkban minden esetben jelentősen csökkent, míg az anticiklonális helyzetekben szinte minden esetben jelentősen nőtt a gyakoriság. Számszerűsítve ez azt jelenti, hogy a jegesedéses napok között a ciklonális napok aránya az 56%-os értékről, az alacsonyszintű jegesedés esetében kevesebb, mint felére, 27%-ra csökkent. Mindezek alapján levonhatjuk azt a konzekvenciát, hogy jegesedési szempontból, a pilótánélküli repülő eszközök tipikus üzemeltetési magasságát figyelembe véve az anticiklonális helyzetek nagyobb jelentőséggel bírnak. Ugyanis az időjárási feltételek statikus fennállásakor, jellemzően a vázolt anticiklonális szituációkban, a jegesedés elsősorban alacsonyszintű felhőzetben vagy annak közvetlen környezetében fordul elő. Ezekben a helyzetekben a pilóta nélküli repülőgépek irányítása a rossz látási viszonyok miatt gyakran nem végezhető vizuálisan, így a potenciális jegesedési szituációk is nehezebben elkerülhetővé válnak. Mindezt tovább tetézi, hogy a réteges felhőzet általában nem rendelkezik határozott kontúrokkal, a felhő és környezete között diffúz átmenet van, megnehezítve ezzel annak megítélését is, hogy a repülőeszköz felhőbe került-e.



4. ábra A jegesedés körülményeit reprezentáló környezeti hőmérsékletek relatív gyakorisága az összes és a 6000' alatti méréseket figyelembe véve

A 4. ábra a jegesedés körülményeit jól reprezentáló, azaz 0-s osztályú mérési adatokat dolgozza fel. Az összes reprezentatív mérést figyelembe véve jegesedés a (-8)-(-9)°C közötti értékek mellett fordult elő a legnagyobb gyakorisággal, ugyanakkor közel kiegyensúlyozottan jelenik meg a (-2)-(-10)°C közötti tartományban. Amennyiben a zöld színnel jelölt 6000' alatti reprezentatív méréseket tekintjük, akkor az alacsonyabb hőmérsékletektől indulva, a -2°C-os maximális gyakoriság eléréséig egy meredek, lineáris trendet figyelhetünk meg, ami a csúc elérése után gyors

lecsengést mutat. A  $-10^{\circ}\text{C}$ -nál hidegebb és a  $-1^{\circ}\text{C}$ -nál melegebb értékek összesített relatív gyakorisága mindössze 8%-ot tesz ki.



5. ábra A jegesedés körülményeit reprezentáló relatív nedvesség adatok relatív gyakorisága az összes és a 6000' alatti méréseket figyelembe véve

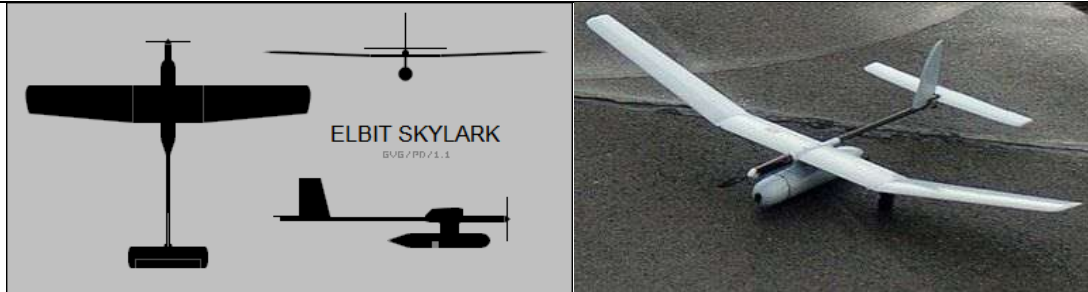
A hőmérsékletek relatív gyakoriságát szemléltető ábrához hasonlóan, a relatív nedvesség hasonló jellemzőinek eloszlása is jelentősen változik a 6000' alatti reprezentatív mérések esetében. Jól észrevehetően megnő a telítéshez közeli relatív nedvesség értékek gyakorisága.

## A JÉGAKKRÉCIÓ BECSLÉSE

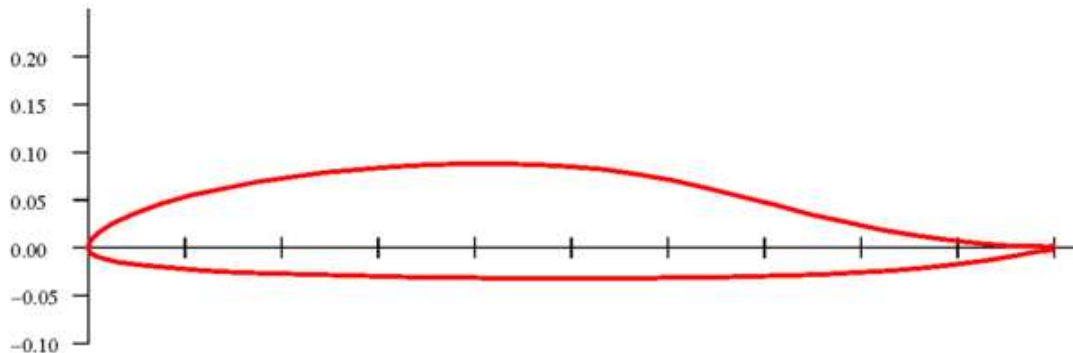
Az UAV-k felületén (elsősorban szárnyain) kialakuló jéglerakódás mennyisége (tömege), intenzitása és alakja (geometriája) egyaránt fontos. Munkánkban az akkréció becsléséhez a korábban már alkalmazott Lozowski-féle modellt használtuk. A modell a repülőeszköz felülete és környezete közötti energiafluxusok vizsgálatán, és ezen fluxusok összegének zérus értékén alapuló differenciál-egyenlet megoldásán alapul. [5] A modell nem forgó hengerre végzi el a jéglerakódás becslését, ami egyszerűsítést tesz lehetővé a számítások elvégzése során.

A becsléshez a réteges felhőzetben tapasztalható cseppméret-eloszlást ( $\Gamma$ -eloszlás) alkalmaztunk  $20\ \mu\text{m}$ -es közepes cseppátmérővel, ami jól közelíti a vizsgált meteorológiai helyzetben előfordult St felhőzet cseppméret-karakterisztikáját. [6]

A jégbevonat kialakulását az ELBIT cég Skylark-I LE SUAV repülőeszközén (6. ábra.) modelleztük, melynek a szárnyprofilját jól közelíti a Roncz Low Drag szárnyszelvény (7. ábra.)  $0,3\ \text{m}$  húrhosszal (mivel a húrhossz a szárny mentén változik, ezért alkalmazzuk az említett konstanst). Az említett alakú és méretű szárny esetén az illeszkedő henger átmérője  $0,0105\ \text{m}$ -nek adódott. [7]



6.ábra. Az ELBIT cég Skylark I-LE SUAV repülőeszköze

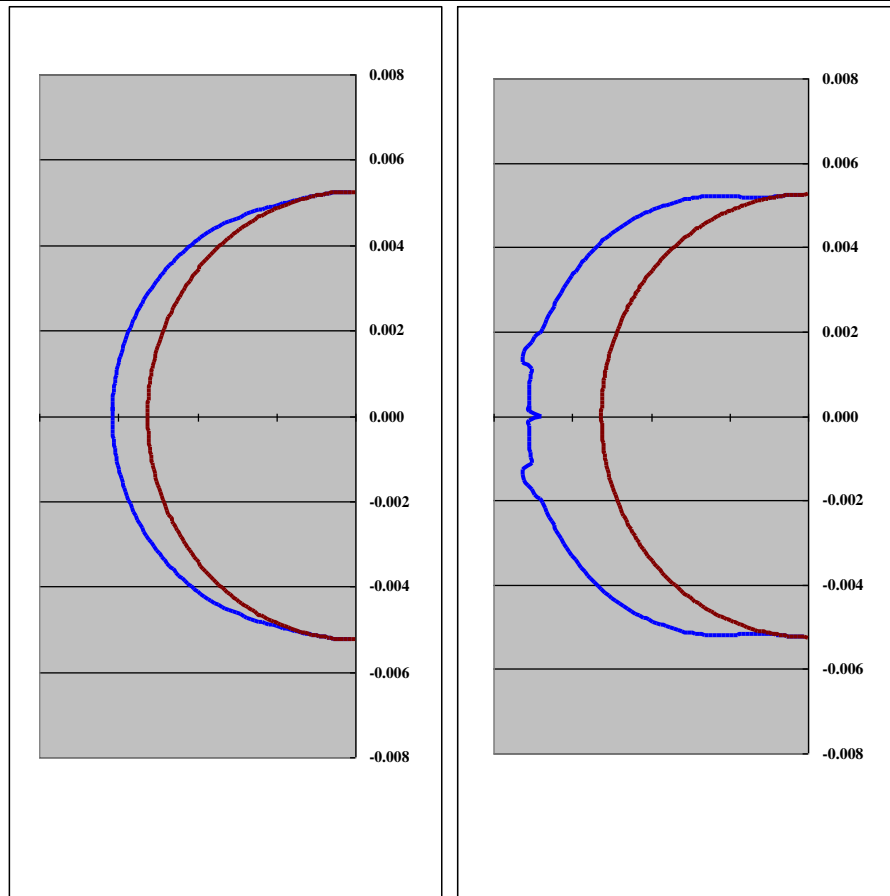


7.ábra. A Roncz Low Drag szárnyszelvény geometriája. Forrás: <http://www.worldofkrauss.com/foils/1791>

A repülési sebességet a 10 és 20 m/s értékkel vizsgáltuk, ami megfelel a típusra megadott értéktartallumnak.

## ESETTANULMÁNY

A jégakkréció becsléséhez egy – a Kárpát-medencében igen gyakori téli – ún. hideg légpárnás szituációt választottunk, melynek jellegzetessége az alacsony felhőalappal rendelkező, túlhűlt St felhőzet kialakulása és hosszú időn keresztül (5-15 nap) történő fennmaradása. A konkrét meteorológiai szituációt a 2006. január 14-én mért és észlelt időjárási adatok segítségével reprezentáljuk, valamint feltételezzük, hogy a túlhűlt folyékony víztartalom (LWC) értéke 0,0005 g/kg volt. Az ezen a napon beérkezett AIREP táviratok alapján a felszíntől számítva 4000-5000 láb magasságig erősen jegesítő volt a légkör Budapest környékén. Az adatok alapján a modellt 1010 hPa statikus légnyomásnak megfelelő magasságon,  $-3^{\circ}\text{C}$  környezeti hőmérséklet mellett futtattuk le, a korábban megadott LWC értékkel, figyelembe véve a Skylark-I SUAV geometriai és műszaki karakterisztikáit. A hipotetikus repülési időtartam 5 perc.



8. ábra A szóban forgó SUAV szárnyfelületét közelítő hengeren történő jéglerakódás becslése egy hideg légpárnás szituációban. Bal oldal: repülési sebesség 10 m/s. Jobb oldal: repülési sebesség 20 m/s. Kék szín a becsült jéglerakódás felszínét, a sötétpiros pedig a szárnyprofilhoz illeszkedő henger felszínét jelöli.

A 8. ábrán feltüntetett eredmények 5 perces hipotetikus repülés után kialakuló jégbevonatot reprezentálnak, melyek esetében a szárnyprofil (henger) szinte teljes felületére modellezhetővé vált a jégakkréció eloszlása. Az ábrán világosan látható, hogy az adott meteorológiai szituációban már 10 m/s repülési sebességnél is jól mérhető jégbevonat képződik (kék görbe), melynek maximuma a belépő élnél helyezkedik el, ami száraz típusú jegesedésre utal. A számított maximális jegesedési intenzitás 0,18 mm/perc értékű, ami gyenge jegesedésre utaló érték az FAA skáláján. Ugyanakkor, figyelembe kell venni, hogy a jegesítő zónában történő huzamosabb idejű repülés esetén a jégbevonat vastagsága tekintélyes méretűvé nőhet!

Amennyiben a repülési sebesség a kétszeres értékre nő (20 m/s), a jegesedési folyamat jellege alapvetően megváltozik! Ebben az esetben a jéglerakódás típusa már nedves, azaz a maximális jégvastagság nem a belépő élnél található, hanem attól távolabb alakul ki (8. ábra, jobb oldali kép). Ez a típus aerodinamikai szempontból veszélyesebb az előbbinél, ráadásul a maximális jegesedési intenzitás már 0,43 mm/perc értékű, ami már közepes erősségűnek felel meg az FAA skálán. Ez azt jelenti, hogy kevesebb, mint 30 perc repülési idő alatt 10 mm-nél vastagabb jégbevonat képződése várható, az adott meteorológiai és aerodinamikai feltételek mellett.

A pilóta nélküli repülőeszközök gyors elterjedése és többcélú alkalmazása megkívánja egy meteorológiai támogató rendszer kialakítását. Ennek a rendszernek – véleményünk szerint – a korábban mért adatok statisztikus feldolgozására és numerikus modell-számításokra célszerű épülnie a real-time adatok ismerete mellett.

Munkánkban az UAV-k szempontjából fontos, kritikus repülésmeteorológiai jelenség (felületi jegesedés) repülésmeteorológiai megközelítésével valamint számszerű modellezésének lehetőségével foglalkoztunk.

Megállapítottuk, hogy a 6000' alatti jegesedési szituációk, több mint 90%-a a  $-1^{\circ}\text{C}$  és  $-9^{\circ}\text{C}$  közötti hőmérsékleti tartományba esett valamint felhözethez kapcsolódóan jelent meg. Makroszintoptikus szempontból az anticiklonális időjárási helyzetek gyakorisága volt a legnagyobb a tapasztalt jegesedési esetekben, melyek fennmaradási időtartama akár 15-20 nap is lehet.

Egy konkrét téli hideg légpárnás időjárási helyzetre vonatkozóan – figyelembe véve a vizsgált SUAV repülőeszköz aerodinamikai tulajdonságait – becslést adtunk a szárnyon képződő jégbevonat növekedési intenzitására, alakjára és a jegesedés jellegére, egyaránt. Láttuk, hogy a repülési sebesség függvényében eltérő intenzitás és jégbevonat jelenik meg a szárnyon. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy az adott körülmények közötti repülési időtartam jelentősen befolyásolja a kirakódott jég mennyiségét és így a repülőeszköz repülési tulajdonságait is.

A felhasznált jégbevonat-modell jól használható numerikus modellek által szolgáltatott prognózisok alapján történő felületi jegesedési előrejelzések készítéséhez is, melynek kialakítása munkánk további részét képezi a jövőben.

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GENT, R. W., DART, N. P., CANSDALE, J. T.: Aircraft Icing. Philosophical Transactions of The Royal Society. Lond. A., 358, 2000. 2873-2911.
- [2] LIST, R.: Ice accretions of structures. Journal of Glaciology, Vol. 19. , No. 81, 1977, 451-465.
- [3] BOTTYÁN, Z.: A szárnyprofil-geometria és az ütközési hatékonyság kapcsolata a repülőgépek felületi jegesedésének folyamata során. Repüléstudományi Közlemények, Vol. 24., No. 1., 43-50.
- [4] PÉCZELY, G. (1961): Magyarország makroszintoptikus helyzeteinek éghajlati jellemzése. OMI Kisebbségi Kiadványai No. 32: 132.
- [5] LOZOWSKI, E. P., STALLABRASS, J. R., HEARTY, P. F.: The Icing of an Unheated, Nonrotating Cylinder. Part I: A Simulation Model, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 22., 1983, 2053-2062.
- [6] GERESDI, I.: Felhőfizika. Dialóg Campus Kiadó. Budapest-Pécs. 2004.
- [7] BOTTYÁN, Z.: Estimation of structural icing intensity and geometry of aircrafts during different conditions - a fixed-wing approach. Időjárás, Vol. 115., No. 4., 2011., 275-288.

Dudás Levente<sup>1</sup> – Varga Lajos<sup>2</sup>

## MASAT-1 COM – AZ ELSŐ MAGYAR MŰHOLD KOMMUNIKÁCIÓS ALRENDSZERE – PÁLYÁRA ÁLLÁS, MŰHOLD VÉTEL ÉS VEZÉRLÉS, ÜZEMSZERŰ MŰKÖDÉS<sup>3</sup>

*A Masat-1-et, az első magyar műholdat a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán fejlesztették ki. Előadásunkat a kommunikációs rendszer repülő példányának elkészítésével és a kommunikációs tesztekkel kezdjük. Ezt követően ismertetjük a műholdintegráció főbb lépéseit, és a műhold illesztését a felbocsátószerkezethez. Előadásunk harmadik szakaszában a műhold felbocsátást, a műhold vételét és vezérlését ismertetjük, valamint kitérünk az első mérési eredményekre.*

### **MASAT-1 – THE COMMUNICATION SUBSYSTEM OF THE FIRST HUNGARIAN SATELLITE – LAUNCH, SATELLITE RECEPTION AND COMMANDING, OPERATION**

*Masat-1, the First Hungarian Satellite was developed at the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Budapest University of Technology and Economics. In the first section we deal with the production of the flight model of the communication subsystem, and with communication test procedures. Then the satellite integration, and the satellite's integration to the launch vehicle are introduced. The third section deals with the launch, reception and commanding of the satellite, altogether with the introduction of the first measurement data.*

## BEVEZETÉS

2007-ben kezdődött a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán a Masat-1 kisműhold fejlesztése. A hallgatói kezdeményezést az Elektronikus Eszközök valamint a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtechnika Tanszék karolta fel. A tervezési munkálatokat magyar mérnökök és mérnökhallgatók végezték, így a Masat-1 Magyarország első önálló űreszköze. Míg a Cubesatok tervezői sokszor alkalmaznak piacon hozzáférhető komplett megoldásokat, a Masat-1 esetében a fejlesztő csapat nem használt fel felhasználásra előre elkészített (ún. „off-the-shelf”) alrendszert, így a Masat-1 ebből a szempontból (is) unikálisnak tekinthető. A műholdküldetés célja egyrészt tudományos-technikai demonstráció, másrészt az űrkutatás népszerűsítése az oktatásban és a kapcsolódó területeken. A projekthez kapcsolódóan több tantárgy is indult az egyetemen (Űreszközök fedélzeti rendszerei és Űrtechnológia), valamint a hallgatók önálló laboratóriumi illetve diplomadolgozatot is készítettek a tárgyban.

2 évvel ezelőtti cikkünkben beszámoltunk a projekt akkori állásáról. Jelen cikkünkben a legfontosabb alapvetések ismertetését követően összefoglaljuk a 2010 óta eltelt időszak eseményeit és a projekt jelenlegi állását.

---

1 BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar, dudas@mht.bme.hu

2 BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar

3 Lektorálta: Dr. Ludányi Lajos ny. okl. mk. alez; főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ludanyi.lajos@uni-nke.hu

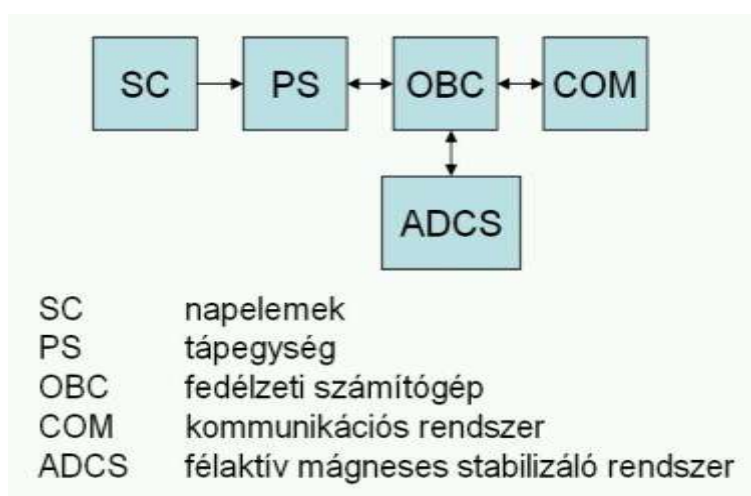
Az ún. Cubesat szabványt 1999-ben alakították ki a CalPoly és a Stanford egyetemek együttműködésében. A szabványban rögzítésre kerültek a műholdak főbb mechanikai paraméterei, valamint a műhold és a rakéta közötti illesztőfelület. A szabványosítás célja, hogy a szabványnak megfelelő műholdak gyorsabban és olcsóbban rakétába integrálhatók legyenek. A Cubesat szabványnak megfelelő műholdak tömege 1 kg (megj.: 2012-ben már 1,33 kg-os tömeg is megengedett, de ez a Masat-1 kisműhold fejlesztési fázisában még nem volt elfogadott), befoglaló mérete 10x10x10 cm. A Cubesat szabvány megenged a 10x10x10 cm-es (ún. 1 unit, 1U) egységnyi méret többszöröseinek megfelelő méretű holdakat, ezeket (10x10x20, 10x10x30) rendre 2U és 3U műholdaknak jelölik. A szabványnak megfelelő műholdak korlátozott tömege ráadásul segít a felbocsátás költségeinek relatíve alacsonyan tartásában.

A Masat-1 pikoműhold az 1U osztályba tartozó Cubesat. A tervezés megkezdésekor még nem volt lehetőség 1,33 kg-os 1U pikoműholdak felbocsátására, így a Masat-1 az 1 kg-os felső tömeghatárnak megfelelően készült.

A szabványban meghatározott, valamint az űrbeli körülmények által adott határparaméterek mellett olyan komplex rendszert kellett összeállítani, amely architektúrájában hasonló a nagy kereskedelmi és katonai műholdakhoz. Ez a felépítés – a kis tömeggel természetesen együtt járó alacsonyabb költségekkel karöltve – kiváló lehetőséget biztosít arra, hogy a munka során mindazon fejlesztési fázisokat végigjárjuk, amelyek egy ennél komplexebb műhold fejlesztését jellemzik.

A tervezés során a kis méret és a tömegkorlátozás mellett két jelentős kihívásnak kell megfelelni. Egyrészt minden fedélzeti elektronikának képesnek kell lennie extrém körülmények közötti (vákuum; -40 . +80 °C hőmérséklet határok) működésre, másrészt a felbocsátás extrém mechanikai igénybevételét is el kell viselni a szerkezetnek és az alrendszereknek egyaránt. A rendszernek minden körülmények között megbízhatóan kell működnie, így célszerű az architektúrát egy pont-meghibásodás ellen védettként felépíteni.

A MaSat-1 kisműhold fedélzeti rendszerének felépítése látható az 1. ábrán.



1. ábra A Masat-1 kisműhold fedélzeti rendszerei

A műhold energiaellátását napelemek biztosítják. Az ezekből kinyerhető teljesítmény 1-2 W között van. Ebből gazdálkodva kell biztosítani az összes fedélzeti rendszer energiaellátását,

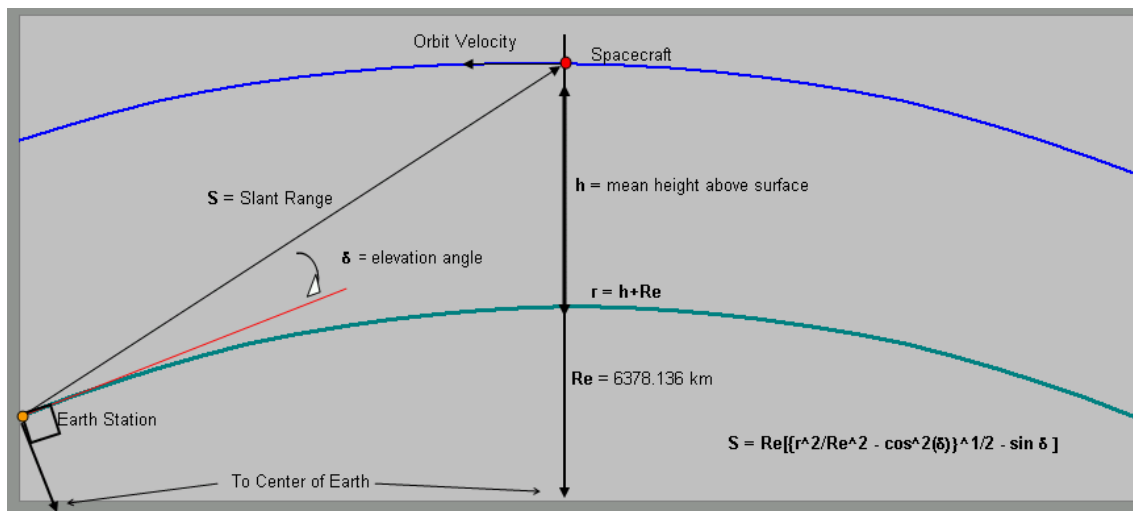
ami komoly kihívást jelent. A napelemek optimális kihasználását maximális munkapont-követő áramkör (MPPT – Maximal Power Point Tracker) biztosítja, amihez egy DC-DC konverter (EPS – Electrical Power System) kapcsolódik, biztosítva az egyes részekeségek számára szükséges tápfeszültséget. A földárnyékban eltöltött idő alatti működést, és az esetlegesen előforduló nagyobb pillanatnyi teljesítményfelvételt egy lítium-alapú akkumulátor fedezi. A fedélzeti intelligenciát egy mikroprogramozott vezérlőegységen alapuló fedélzeti adatkezelő biztosítja (OBC – On-Board Computer), ezen futnak a szükséges számítások, valamint a rendszer működését összehangoló ütemező. A műholdon kísérleti jelleggel egy félaktív elektromágneses stabilizáló rendszer került elhelyezésre, ezzel várhatóan biztosítható a Masat-1 pozicionálása, s az aktuális pozíció mérése. Végül, de nem utolsósorban elhelyezésre került egy kommunikációs alrendszer, amely a fedélzeti számítógép és a földi állomás (GS – Ground Station) közötti adatátvitelt biztosítja.

A projektben a szerzők a kommunikációs rendszer fejlesztését végezték. A kommunikációs folyamat két résztvevője tulajdonképpen maga a MaSat-1 műhold, valamint Budapesten, a Műegyetemi Rádió Klubban (MRC) elhelyezett elsődleges illetve egy érdi másodlagos földi vezérlő állomás. A kommunikációs alrendszer kifejlesztése során tehát nemcsak a műholdfedélzeti alrendszer tervezésével és kialakításával kell foglalkozni, hanem a földi állomáson is ki kell alakítani a megfelelő hardver- és szoftverkörnyezetet. Mindkét földi állomás Interneten keresztül távolról elérhető és vezérelhető.

## TERVEZÉSI PARAMÉTEREK

### Műholdpálya

A műhold alacsony Föld körüli pályán (LEO – Low Earth Orbit) kering, a pályamagasság megközelítőleg 350/1450 km (elliptikus pálya). A pálya geometriájából adódóan a legnagyobb áthidalandó távolság a horizont. Ez magyarországi viszonylatban 4500 km-t jelent, amely a gyakorlatban kisebb lesz, ugyanis a helyi domborzati viszonyok miatt nem látható a 0°-os elevációhoz tartozó horizont – 2. ábra.



2. ábra A műholdpálya



A rádióösszeköttetés méretezésénél a pályaadatokból számított következő adatokat vettük figyelembe:

- maximális pályamagasság: 1450 km;
- keringési sebesség: >7500 m/s;
- keringési idő: kb. 100 perc.

A földi vételi oldalon szeretnénk a világ minden táján minél több rádióamatőrt bevonni a vételbe, így a rádióamatőr frekvencia kiosztásnak megfelelő sávokat és sáv szélességet választottunk:

- működési frekvenciasáv: 145 és 437 MHz;
- maximális sáv szélesség: 12,5 kHz.

## Rádió link

A fent részletezett paraméterek alapján elkészített, a rádiós összeköttetés teljesítményviszonyaira vonatkozó számítási eredmények az 1. táblázatban találhatóak.

távolság (horizont)	d	4500	km
frekvencia	f	437.345	MHz
hullámhossz	lambda	0.69	m
szabadtéri szakaszcsillapítás	a0	158	dB
adóteljesítmény	Pa	20	dBm
adóantenna nyereség	Ga	0	dBi
vevőantenna nyereség	Gv	12	dBi
vett jelszint	Pv	-129	dBm
sáv szélesség	B	3000	Hz
zajtelsítmény	Pz	2.484E-17	W
zajtelsítmény	Pz	-138	dBm
jel-zaj viszony	SNR	10	dB
rádió érzékenység	Us	1.00E-07	V
	Ps	2E-18	W
	Ps	-157	dBW
	Ps	-127	dBm
tartalék		1	dB

1. táblázat Teljesítményviszonyok

A kommunikáció a 70 cm-es illetve a 2 m-es rádióamatőr frekvenciasávon zajlik, ehhez hatályos frekvenciaengedélyt kértünk és kaptunk a Nemzeti és a Nemzetközi Hírközlési Hatóságtól. A műhold hívójele: HA5MASAT.



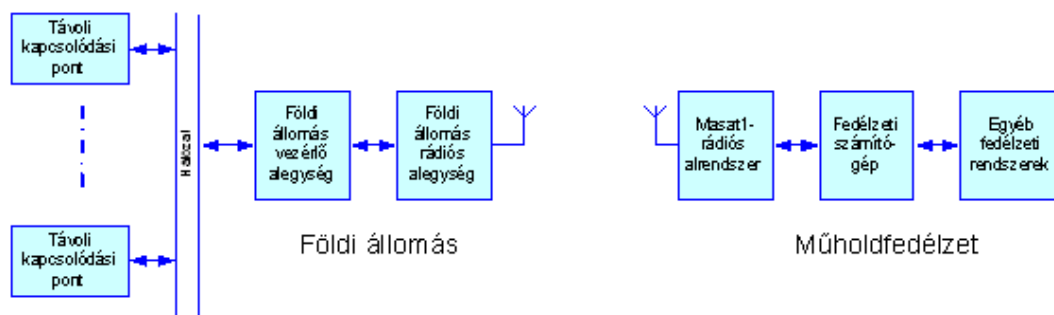
3. ábra A földi állomás adó-vevője

A rádiólink számításnál az antenna nyereségeket és a vevő érzékenységeket szándékosan alulról, a sáv szélességeket és a távolságot pedig felülről közelítve vettük figyelembe. Az így kapott jel-zaj viszony és fading tartalék értékek azt mutatják (mivel pozitívak), hogy a rádiólink zárul. Ezek alapján a földi adóoldali vezérléshez egy kb. 20 W RF kimeneti teljesítményű rádióadó (3. ábra), és az adott frekvenciasávra méretezett 10-12 dBi nyereségű irányított antenna, a műhold vételéhez pedig egy  $0,1 \mu\text{V} @ 50 \Omega$  érzékenységű rádióvevő (3. ábra), a hozzá tartozó minimum 12 dBi nyereségű antennával szükséges.

A műholdoldali kommunikációs rendszer rádiós linkre vonatkozó minimális határparamétere a 20 dBm-es adóteljesítmény, valamint a -108 dBm-es érzékenység.

## A KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZER

A műhold és a földi állomás közötti digitális adatkapcsolat a kommunikációs rendszer segítségével valósul meg. A rádiós összeköttetés alapvetően két jól elkülöníthető részből áll: az egyik a műhold, a másik a földi állomás, vagy a földi állomások rendszere. A két részen eltérő fejlesztési irányelveknek kell megfelelni. A teljes kommunikációs architektúra látható az 4. ábrán.



4. ábra A teljes kommunikációs architektúra

### Feladat

A kommunikációs rendszer alapvető feladata műhold – Föld irányban (downlink) a műhold belső paramétereinek (feszültségek, áramok, hőmérsékleti adatok, napelem megvilágítási értékek, giroszkóp és mágneses szenzor értékek, stb.) a földi állomásra továbbítása. Ezt nevezük **telemetriának**.

Föld – műhold irányban (uplink) a kommunikációs rendszernek a földi állomásról érkező parancsokat kell venni és feldolgozni. Ezt nevezük **telecommandnak**.

### Műholdfedélzeti kommunikációs rendszer

A műholdfedélzeti rádiós adatkapcsolati rendszer a következő paraméterekkel rendelkezik:

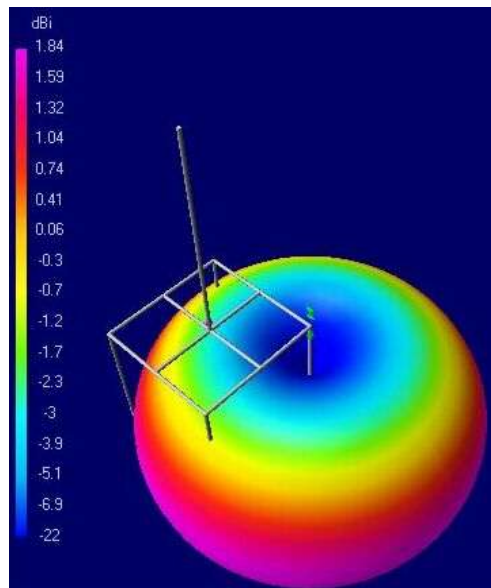
- bemeneti maximális tápteljesítmény (tápteljesítmény-felvétel adásban) 1000 mW;
- adóteljesítmény: 100 / 400 mWerp;
- vételi érzékenység: min. -108 dBm @ BER = 0,001;
- tápfeszültség 3,3 V ( $\pm 5\%$ );
- méret: 90x90 mm bruttó méretű nyomtatott áramköri lemez, a rögzítéséből adódó mechanikai megkötésekkel;

- tömeg: max. 75 g;
- működési hőmérséklet tartomány: -40..+80 °C;
- adási frekvencia: 437,345 MHz;
- vételi frekvencia: 145,980 MHz;
- antenna: monopól;
- adásmód: 2 Gaussi FSK;
- adatsebesség: 625 / 1250 bit/s;
- sávszélesség: 3000 Hz.

Egyes paramétereket a műholddal szemben támasztott követelmények, továbbiakat a fentebb részletezett rádiós linkparaméterek tettek szükségessé, a felsorolásban szereplő, de korábban nem részletezett paraméterek leírása az alábbiakban olvasható.

### Műholdfedélzeti antenna

A műhold antennája a műhold – Föld irányra méretezett egyszerű negyedhullámú sugárzó, melynek analizált iránykarakterisztikája a 5. ábrán látható.



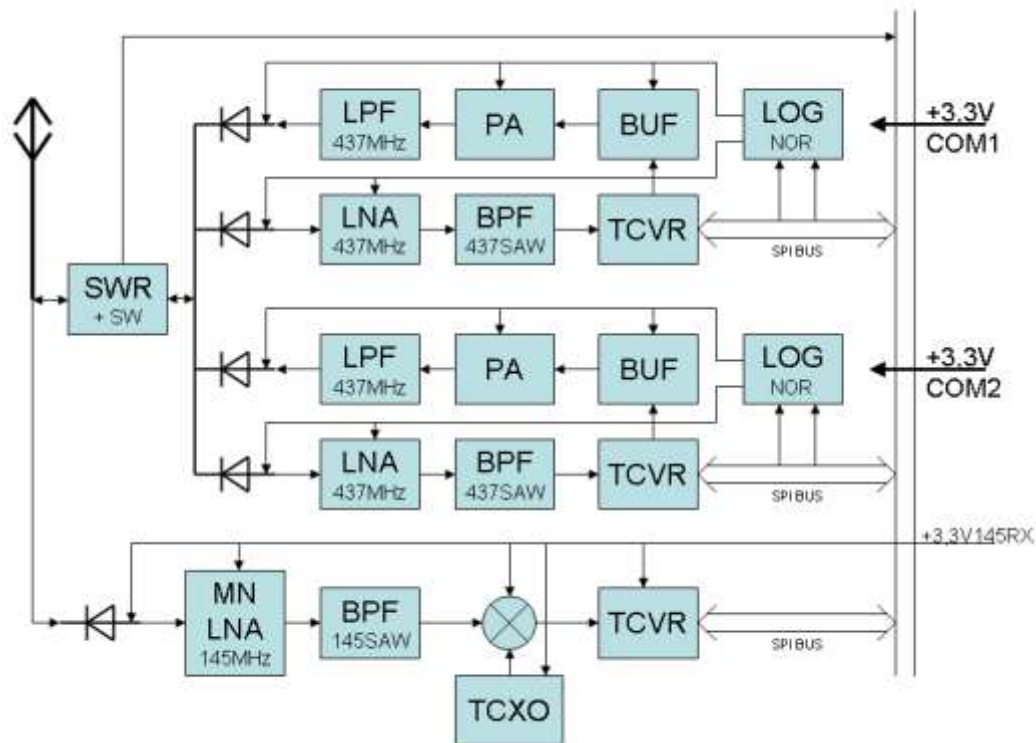
5. ábra A műhold antennájának sugárzási diagramja

Ennek az antennának a feladata, hogy a 437 MHz-es jeleket a lehető legjobb hatásfokkal sugározza le a Földre, illetve a Földről érkező 145 MHz-es vezérlő jeleket a tőle elvárható legjobb hatásfokkal vegye. Az antenna hossza úgy lett megválasztva, a 437 MHz-es sávon a lehető legnagyobb hatásfokkal működjön (50  $\Omega$  körüli sugárzási ellenállás), illeszkedjen a műhold geometriai méreteihez (10x10x10 cm-es kocka), és a kockából nyitható legyen  $\rightarrow$  17 cm.

Ez a hosszúság, a felmenő oldalon – 145 MHz-en – a hullámhossz kb. egy-tizenketted része. A relative kis hosszúság miatt a sugárzási ellenállás valós része kb. 2  $\Omega$  körüli, reaktáns része pedig erősen kapacitív jellegű. Ezt a bemeneti impedanciát kell teljesítményben illeszteni a műhold vevőjének 50  $\Omega$ -os bemenetéhez. Ezek miatt lesz az antenna uplink oldali nyeresége -30 dBi, kb. ugyanolyan kardioid jellegű iránydiagram mellett.

## Műholdfedélzeti adó-vevő

A műholdon levő digitális adó-vevő felépítése a 6. ábrán látható.



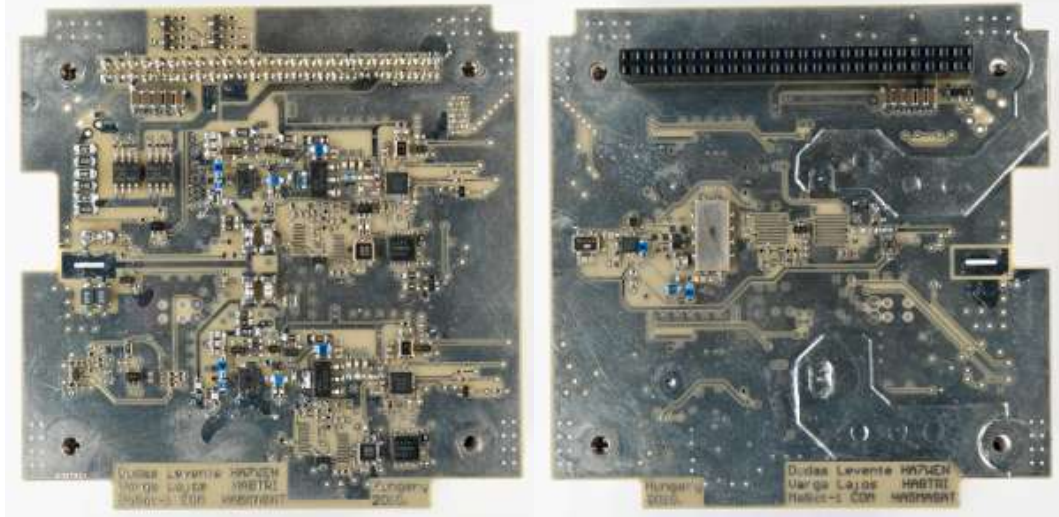
6. ábra A műholdfedélzeti adó-vevő felépítése

A rádió alapja egy integrált áramkörön megvalósított FSK adó-vevő, amely a 437 MHz-es sávon üzemel (TCVR). Adásirányban a kimeneti jele egy UHF teljesítményerősítőre kapcsolódik (PA). Ezután a jel egy hatékony harmonikus elnyomást megvalósító szűrőn keresztül csatlakozik egy diódás RF kapcsolóra és kerül az antennára.

Vételirányban az antennáról jövő 145 MHz-es jel a diódás RF kapcsolón, impedancia illesztő hálózaton (MN), sávszűrőn (BPF) és RF kiszajú előerősítőn (LNA) keresztül egy keverőre kapcsolódik. Ott egy helyi oszcillátor (TCXO) rezgésével keveredve egy középfrekvenciás erősítőn keresztül kapcsolódik az adó-vevő IC vevőbemenetéhez.

A tényleges moduláció illetve demoduláció az adó-vevő IC-n belül történik. Ez a fedélzeti számítógép rendszerbuszára csatlakozik, ahol soros kapcsolaton keresztül vezérelhető. A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer a vett csomagok értelmezését nem végzi, a vett adatokat továbbítja a fedélzeti számítógép felé, illetve a fedélzeti számítógép adatait a megfelelő paraméterekkel lesugározza a földi vevőállomásra.

Az adó-vevő – ugyanúgy, mint a műhold működéséhez elengedhetetlenül fontos minden részegység – hidegtartalékolt, vagyis a teljes kommunikációs rendszer (hasonlóan a tápegységhez, fedélzeti számítógéphez) duplikált. A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer paneljének repülő példánya látható a 7. ábrán.

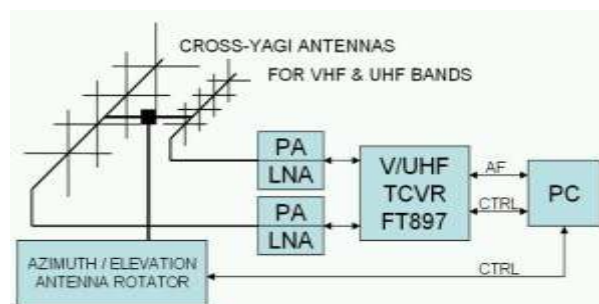


7. ábra A repülő példány

## A földi állomás

A földi állomás feladata a műhold jelének vétele, valamint parancsok továbbítása a műhold fedélzetére.

Mivel a kommunikáció digitális, ezért az átviteli láncban valahol szükséges digitalizálni mind adás, mind pedig vétel irányban. Ez a gyakorlatban úgy történik, hogy a földi állomás rádió adó-vevőjének hangszóró kimenete illetve mikrofon bemenete egy számítógép hangkártyájára csatlakozik. Az így felépített földi állomás blokkvázlata látható a 8. ábrán.



8. ábra A földi állomás szerkezete

A rádió adó-vevő nemcsak a hangkártyán keresztül csatlakozik a számítógépre, hanem egy digitális porton is. Ennek oka a műhold keringési sebességében rejlik, mivel a 7500 m/s feletti sebesség esetén, a Doppler-hatásból adódóan a 437 MHz-es sávban több mint 10 kHz a frekvencia elcsúszás.

Ez jelentősen meghaladja a rádió középfrekvenciás sávszélességét, vagyis lehetetlenné teszi a vételt. A pályaadatok ismeretében azonban adott frekvenciasávban minden időpillanatban számítható a Doppler-csúszás mértéke. Az adó-vevő pontos frekvenciája ennek megfelelően állítható. Ezt a frekvencia korrekciót pedig egyértelműen nem végezheti a műhold, hiszen semmilyen információja nincs az aktuális pozíciójáról, nem beszélve a földi állomásokhoz képesti sebességéről.

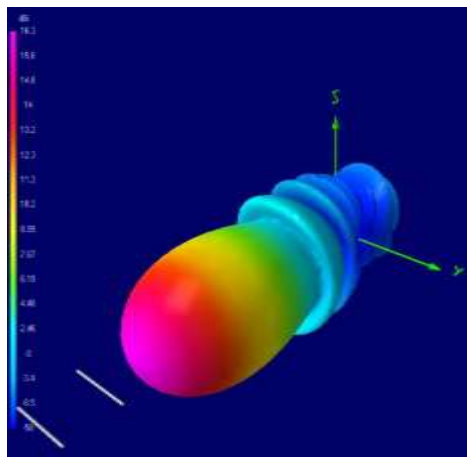
A rádióhoz természetesen tartozik frekvencia sávonként egy-egy nagyteljesítményű végfokozat (PA – Power Amplifier), illetve kiszajú előerősítő (LNA). Ez utóbbi a minél kisebb eredő zajtényező elérése érdekében az antennához a lehető legközelebb került elhelyezésre.

Az antenna fogatását illetve döntését is ugyanezen számítógép vezérli (Antenna Rotator).

### Földi vevőállomás antenna

A műhold jele mind adás, mind pedig vételi irányban lineárisan polarizált – negyedhullámú monopól antenna. A gyakorlatban azonban – mivel a műhold a pályáján haladva forog, precesszáló mozgást végez, illetve belső állandómágnes miatt a Föld mágneses terével kölcsönhatásban a mágneses sarkpontok környékén átfordul – nem tudjuk megmondani, hogy a jelének polarizációja adott időpillanatban milyen irányú. Ezek alapján a földi állomás antennáinak körpolarizáltak kell lenniük, hiszen a körpolarizált antenna bármely lineárisan polarizált jelet azonos érzékenységgel veszi.

A földi állomás kereszt-Yagi antennáinak sugárzási karakterisztikája látható a 9. ábrán.



9. ábra Földi állomás antenna iránykarakterisztika – kereszt-Yagi

Az elsődleges földi állomás antennarendszeréről készült felvétel látható a 10. ábrán.



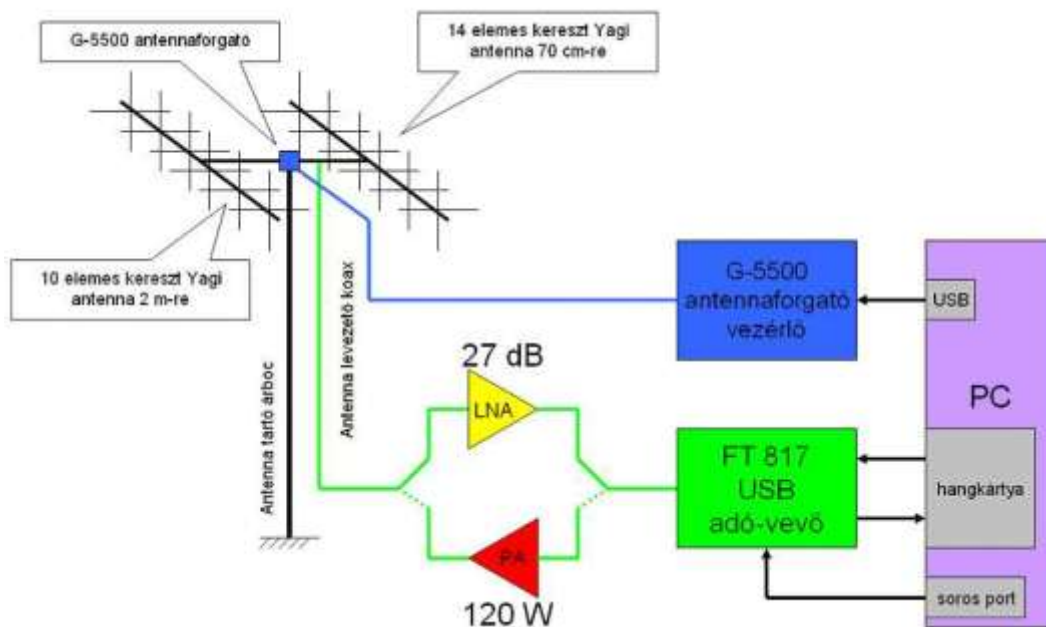
10. ábra Az elsődleges földi állomás antennarendszere

Ahhoz, hogy a műholddal való kommunikáció során egy teljes átvonulás alatt minden időpillanatban biztosítsuk a megfelelő jelszinteket, az irányított antennákat a műhold pályadatainak ismeretében rá kell forgatnunk a műholdra mind azimut, mind pedig elevációs szögben (a horizonthoz tartozó félgömb felület bármely pontjára rá kell tudjunk fordulni). Ehhez egy kéttengelyű antennaforgatóra van szükség, valamint a hozzá tartozó vezérlő elektronikára, illetve a vezérlő számítógépre. A földi állomás antennarendszerének egy 70 cm-es kereszt-Yagi antennája a 11. ábrán látható.



11. ábra 70 cm-es kereszt-Yagi antenna

A tartalékolás nemcsak a műholdon található alrendszerekre érvényes, hanem a földi állomásokra is: az érdi másodlagos földi állomás felépítése a 12. ábrán, az antennarendszere pedig a 13. ábrán látható.



12. ábra Másodlagos földi állomás



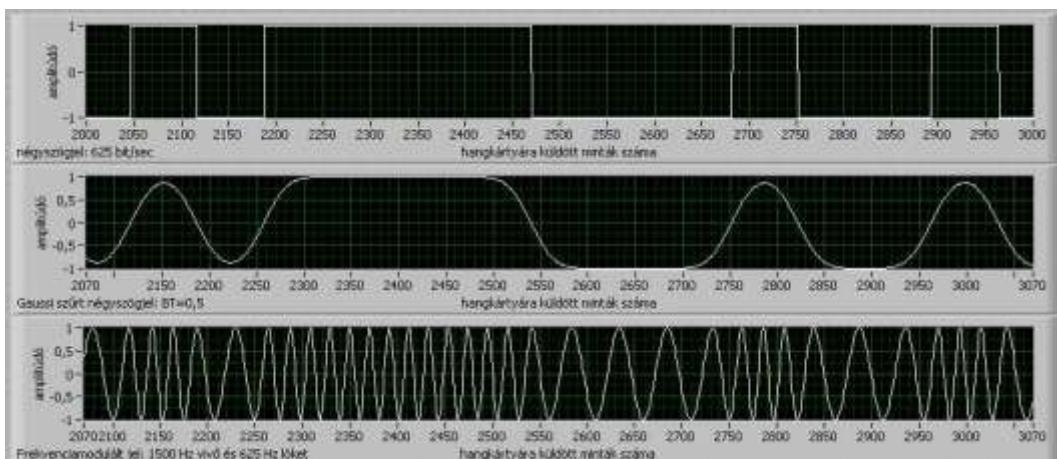
13. ábra Másodlagos földi állomás antennarendszere

## Moduláció [1,2]

A telemetria és a telecommand adatok továbbítása adatcsomagok révén történik. Egy csomag nyers adathossza 32 bájt. Az eddig megismert feltételek alapján (távolság, antennák, frekvenciasáv, stb.) csak egyszerű digitális moduláció használható, amely jelen esetben a 2FSK (energetikailag hatékony – mindkét logikai állapothoz tartozik RF kimeneti teljesítmény; további fontos szempont, hogy a piacon számos gyártónál található FSK adás-vételt megvalósító RF eszköz).

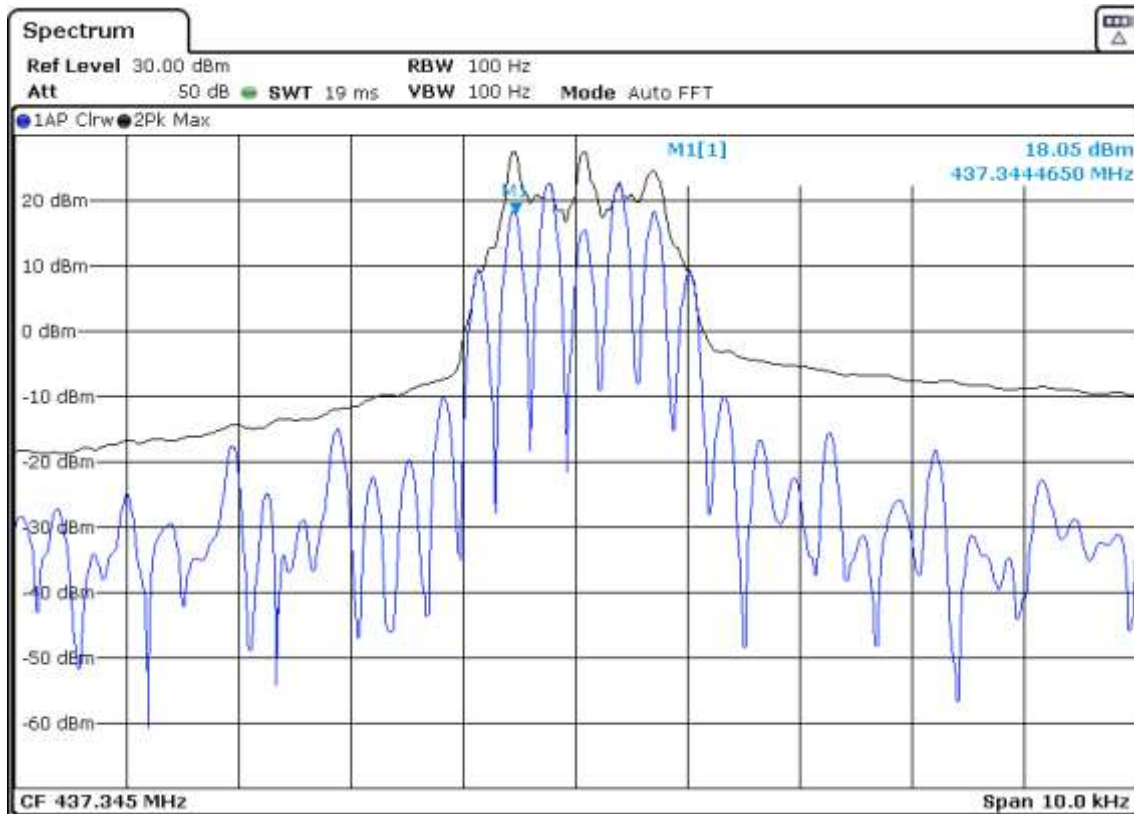
Az FSK-hoz tartozó BER – SNR (bithiba arány – jel-zaj viszony) görbe alapján 6 dB feletti SNR esetén érhető el 1% alatti BER, hogyha az adatsebesség 1250 bit/s illetve az FSK jel sávszélessége 3000 Hz körüli. Ez a sávszélesség jól illeszkedik egy amatőr rádió adó-vevő SSB sávszélességéhez.

A küldött adatbitekhez az adott bitsebességnek megfelelően egy adott hosszúságú négyzögjel tartozik, amely mind adás, mind vétel oldalon áthalad egy Gaussi szűrőn a spektrális hatékonyság növelése érdekében, és ez a szűrt adatbiteknek megfelelő négyzögjel modulálja frekvenciában az 1500 Hz-es segédvívöt – 14. ábra.





Ez a frekvenciamodulált hangfrekvenciás jel kerül a földi állomás adó-vevőjének mikrofon bemenetére és keveredik fel a 145/437 MHz-es RF sávba. A kisugárzott jel mért spektruma látható a 15. ábrán. Jól látható, hogy a Gaussi szűrésnek köszönhetően a tényleges RF sávszélesség 2..2,2 kHz nagyságú, amely jól illeszkedik az SSB adó-vevő 3000 Hz körüli sávszélességéhez.



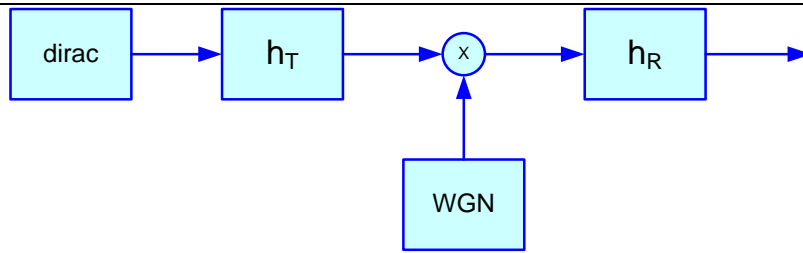
15. ábra A GFSK jel spektruma

### Zajszint alatti detektálás [1,2]

A műholdról a telemetriaadatok vétele a fent részletezett számítások és szimulációk alapján nagy nyereségű földi állomás antennák és antennaforgató berendezés segítségével lehetővé vált. Szeretnénk azonban biztosítani egy olyan működési módot, amellyel a nagy nyereségű antennával nem rendelkező rádióamatőrök számára is lehetséges a MaSat-1 jelenlétének detektálása.

Egy kézirádió használata esetén az összegzett szakaszcsillapítás az irányított antenna 12 dB-es nyereségét elveszti. Amennyiben sikerül találni egy olyan eljárást, amellyel ezt a kb. 12 dB-es nyereséget pótolni lehet, akkor már egy ilyen kezdetleges berendezéssel is lehetővé válna a műhold detektálása. Noha ezzel a megoldással telemetria-adatok vétele nem lehetséges, ugyanakkor adott esetben már a „jelenlét”, mint adat is megfelelő információ tartalommal bírhat.

Az irányított antenna 12 dB-es nyereségét elveszítve a beérkező jel már a zajszint alatt van. Szükség van egy olyan eljárásra, amellyel zajszint alól is lehetséges átvitt jelek azonosítása. A zajszint alatti detekcióhoz illesztett szűrős megoldást alkalmazunk. Az illesztett szűrő elvi felépítése látható a 16. ábrán.



16. ábra Az illesztett szűrő, mint zajszint alatti detektor

Az ideális vevőkészülékben a vevőszűrő a következő megfontolások alapján határozható meg (3).

$$H_{R,opt}(f) = H_T^*(f) \Rightarrow h_{R,opt}(t) = h_T^*(n \cdot T - t) \quad (3)$$

Ekkor a jel-zaj viszony a beérkező jel energiájával arányos (4).

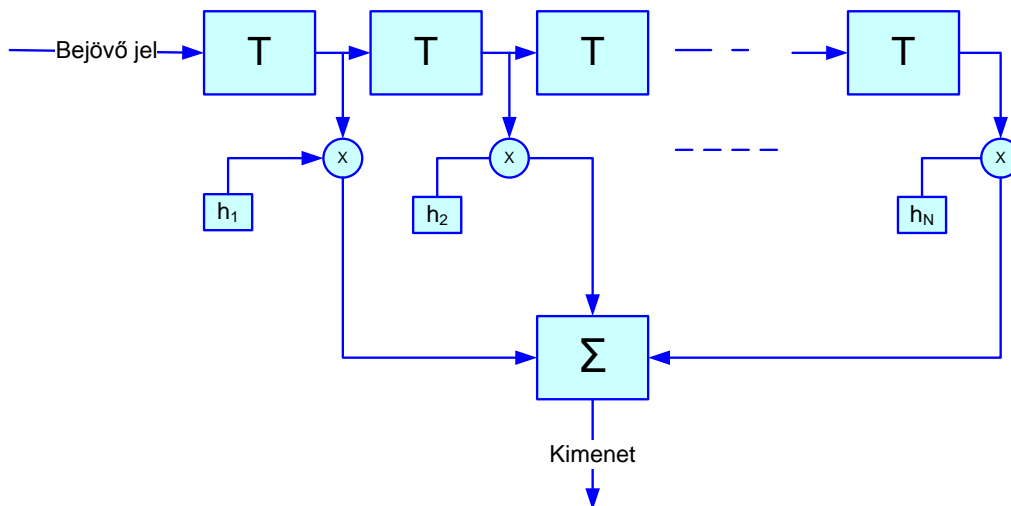
$$SNR_{max} = \frac{2 \cdot E}{N_0} \quad (4)$$

Ahol a jelenergia (5).

$$E = \int_0^{N \cdot T} x^2(t) dt \quad (5)$$

A 17. ábrán látható egy illesztett szűrő digitális reprezentációja (egy FIR szűrő). Ennek matematikai leírása a következő (6).

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot x(N - k) \quad (6)$$



17. ábra Illesztett digitális szűrő blokkdiagrammja

Az illesztett szűrős detektálás lényege, hogy a detektálni kívánt jelalaknak megfelelő mintákat állítunk be a  $\mathbf{h}$  szűrővektorban, majd folyamatosan kiszámítjuk a beérkező jel és a keresett jel-forma korrelációját. Amennyiben a beérkező jel pont az általunk a szűrővektorban elhelyezett jelalak, akkor a szűrő kimenete a választott „kód” autokorrelációjával arányosan nagy érték lesz.

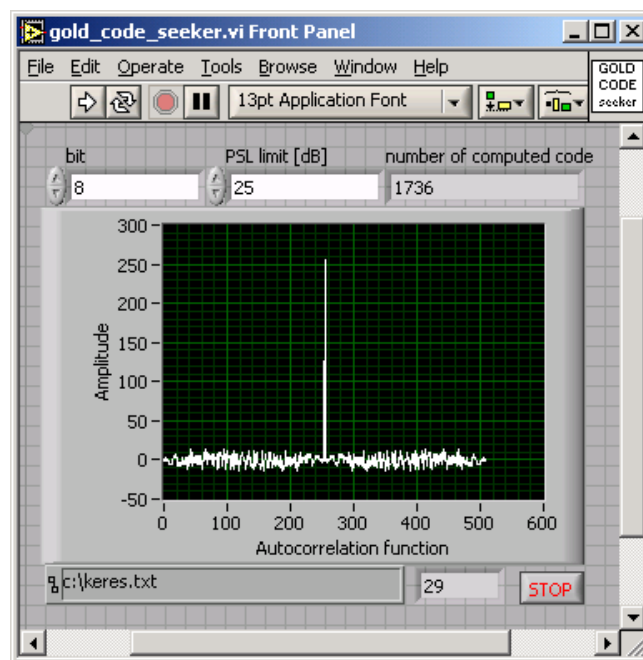
Zajszerű bemenet esetén a szűrő kimenete nulla várható értékű zajszerű kimeneti értéket ad. Egy ilyen szűrős megoldással, egy sok szimbólumból álló kódsorozat alkalmazva – az adatsebesség csökkentése árán – jelentősen növelhető a helyes döntés valószínűsége (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum – amely most nem a sáv szélességet növeli, hanem az adatsebességet csökkenti). A nyereség a választott kódsorozat hosszától, a „felismerhetőség” az autokorrelációjától függ.

Olyan kódot érdemes választani, amelynek a lehető legnagyobb az ún. PSLS értéke (Peak SideLobe Suppression) – (7).

$$PSLS = 20 \cdot \log \frac{\text{Maximális\_érték}}{\text{Második\_legnagyobb\_érték}} \quad (7)$$

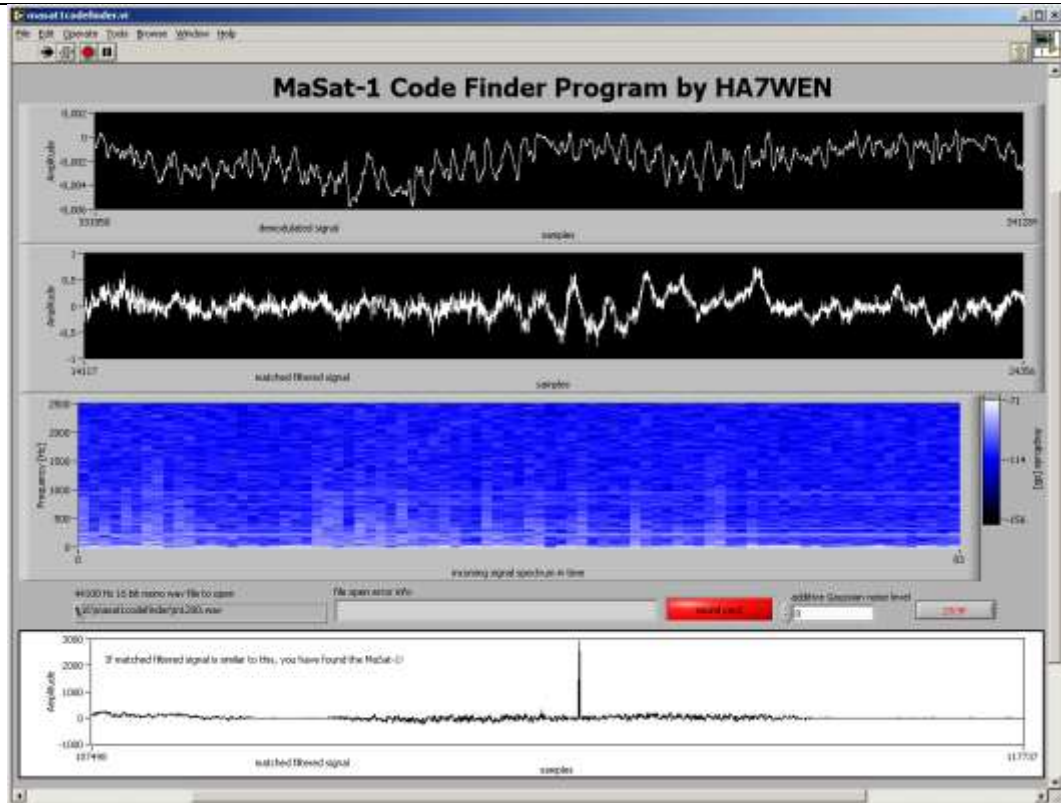
A továbbiakban egy optimális kód megkeresését tűztük ki célul. Egy bizonyos kódméret alatt a kódkeresésre jó megoldást jelent az adott hosszúságú összes kód esetében a PSL kiszámítása. Ugyanakkor a lehetőségek száma a kódhossz függvényében exponenciálisan növekszik, így 50-60 bites kódhossz felett már érdemes véletlenszerű eljárással kódokat keresni.

LabView környezetben elkészült egy, a kódkereső algoritmust megvalósító program. A program felhasználói felülete a 18. ábrán látható.



18. ábra Adott PSL-nél jobb kódokat eltároló kódkereső program

A műholdról lesugárzott telemetria csomagok között van egy olyan csomag, amely egy 512 bit hosszúságú kódot tartalmaz. Az ehhez tartozó detektáló program a 19. ábrán látható.



19. ábra Masat-1 zajszint alatti detektáló program

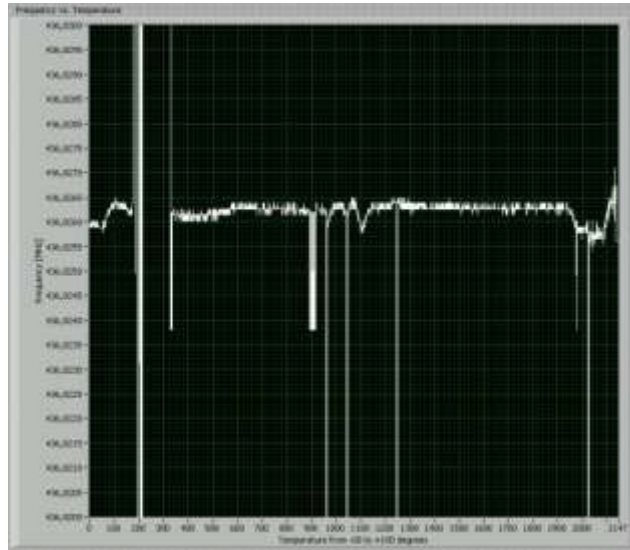
## RÉSZEGYSÉGEK TESZTELÉSE

A teljes rendszer megépítése előtt a főbb részegységeket (keverő, teljesítményerősítő, RF kapcsoló, stb.) külön-külön vizsgálatoknak kellett alávetni. A tesztpaneelen meghatároztuk az analóg elemek szükséges paramétereit, valamint elkészült egy, a rádiós adó-vevő IC-t tesztelő, a kommunikációs rendszer tesztelése során a fedélzeti számítógép szerepét betöltő hardver és szoftver is.



20. ábra A hőkamra

A tesztpaneleket a továbbiakban különböző kísérleteknek vetettük alá. Különösen fontos volt az, hogy az alkatrészek az űrbeli körülmények között is megállják helyüket. Minden beépített alkatrész teljesíti a megadott hőmérséklet specifikációt, de szeretnénk volna meggyőződni arról, hogy a kommunikációs rendszer fent említett egységeibe beépítve is megfelelően működnek-e. A tesztelési fázis legnagyobb részét a hőmérsékleti tesztek tették ki. Ezekhez a Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszéken rendelkezésre álló hőkamrát használtuk (20. ábra). Minden tesztpanelt  $-40$  és  $+80$  °C hőmérséklettartományban vizsgáltunk.



21. ábra Az adó 435MHz-es adófrekvenciája a hőmérséklet függvényében

A működés hőmérsékletfüggésének vizsgálatakor a legfontosabb kérdést a kommunikáció referenciáját biztosító órajelgenerátor stabilitása jelentette. Az adó-vevő IC ennek a generátornak az órajelét használja referenciaként, a 437 MHz-es jelet a néhányszor 10 MHz-es referencia PLL-es sokszorozásával állítja elő. Ennek következtében a referencia-órajelben jelentkező kismértékű hiba is nagy frekvencia elcsúszást eredményezhet, ami az adás és a vétel során is hibát okoz. A normál kvarckristályok alkalmazása esetén a hiba már kis hőmérsékletváltozások esetén is a megengedett határnál több volt (20-50 ppm), így TCXO (Hőmérsékletkompenzált Kristályoscillátor) alkalmazása mellett döntöttünk. A  $-40$  -  $+80$  °C hőmérséklettartományban a TCXO alkalmazásával a kimenő frekvencia a 21. ábrán láthatóan alakult.

Az ábrán látható hirtelen frekvenciaváltozások a mérési elrendezés módosítása miatt adódtak. Az ábrán a folytonos szakaszok jelentik a releváns mérési eredményeket. Látható, hogy a középponti frekvenciához képest maximálisan 500 Hz-es ingadozás lépett fel, ez a 3 kHz-es sávszélesség mellett megfelelő.

A tesztelések következő fázisát a rázópados tesztek jelentették. E tesztek során az egységeknek 70 G ütősszerű, és 28 G szinuszos terhelést kellett elviselni. A rázástesztekhez saját tervezésű nyomtatott áramkör készült, melyen a műhold fő egységeinek mechanikai szempontból érzékeny alkotóelemei kaptak helyet. A rázási tesztek sikeresen zárultak, a választott alkatrészek mindegyike megfelelően viselte a terhelést.

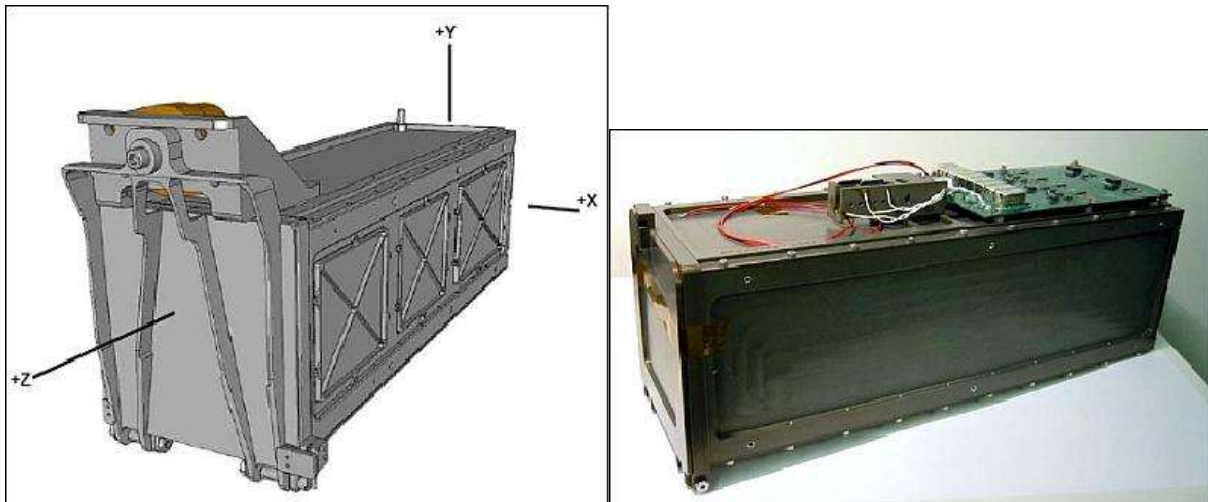
Integrálásról szólva két integrálási szakaszt különböztetünk meg. Elsőként a kommunikációs rendszer került beillesztésre a műhold szerkezetébe. A kommunikációs rendszer integrációjáról és a vonatkozó tesztekéről egy következő cikkben számolunk be. Az integrált műhold fotója látható az alábbi ábrán.



22. ábra A műhold integrált repülő példánya Magyarországon (fenn) és közvetlenül a kibocsátószervezetbe integrálás előtt (lenn)

Egy második integrációs szakaszt jelentett a műhold elhelyezése a rakétára rögzített kibocsátószervezetben. Az alrendszerek integrálásával előálló kész műhold integrációjára 2011 novemberében került sor a Franciaországbeli Toulouse-ban.

Ekkor egy speciálisan Cubesat műholdakhoz tervezett kibocsátószervezetbe, egy ún. P-POD-ba (Poly Picosatellite Orbital Deployer - 23. ábra) kerül elhelyezésre a műhold.



23. ábra P-POD

A P-POD-ba integrálást követően meg kellett győződni arról, hogy a műhold nemcsak önmagában, hanem más műholdakkal és a P-POD-dal összezárva sem kelt olyan zavaró mechanikai rezgéseket, amelyek rezonanciákat okozhatnak a fedélzeten. A tesztek sikerrel zárultak, a 2. számú P-POD megkapta a szükséges minősítéseket.

## FELBOCSÁTÁS

A pályára állító rakéta az ESA új, kis és közepes méretű hasznos terheket földközeli pályára állítani képes hordozója, a Vega. Az ESA hordozórakéta-családja az alábbi ábrán látható. A Vega az ábra bal oldalán látható.

A Vega fejlesztését 1998-ban kezdte meg az Olasz űrügynökség (ASI) és az ESA. A rakéta menetkész tömege 127000 kg, hossza 30 méter feletti. A hordozórakéta 4 fokozatból épül fel, amelyek az alábbiak:

	Méret	Hajtóanyag tömege	Hajtóanyag típusa	üzemidő	Tolóerő
1. Fokozat: P80	10,5x3 m	88 tonna	Szilárd	110 s	3,040 kN
2. Fokozat: Zefiro 23	7,5x1.9 m	24 tonna	Szilárd	77 s	1,200 kN
3. Fokozat: Zefiro 9	3,8x1.9 m	10 tonna	Szilárd	117 s	213 kN
4. Fokozat: AVUM	1,7x1,9	0.55 tonna	Folyékony	317 s (spec.)	2.45 kN

2. táblázat Vega rakétafokozatok

Az első három fokozat elsősorban a rakéta gyorsítását szolgálja, míg az utolsó fokozat a precíz pályára állítás érdekében többször újraindítható, folyékony hajtóanyagú tololmú.



24. ábra ESA hordozórakéták (balról): Vega, Soyuz, Ariane5 ATV, Ariane5

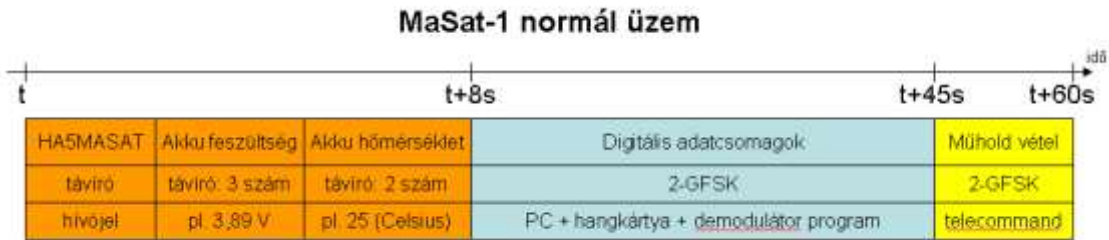
A Masat-1 kisműhold pályára állítására 2012. február 13-án került sor, a Vega hordozórakéta első repülésén. A felbocsátás kezdete magyar idő szerint délelőtt 11:00. 85 perccel később már minden, a Vega által szállított űreszköz pályára állt. A kisműholdak ettől a pillanattól kezdve még 30 percig inaktív állapotban voltak, ezután kezdődött a normál üzem.



25. ábra A Vega felbocsátás közben (VV01 misszió)



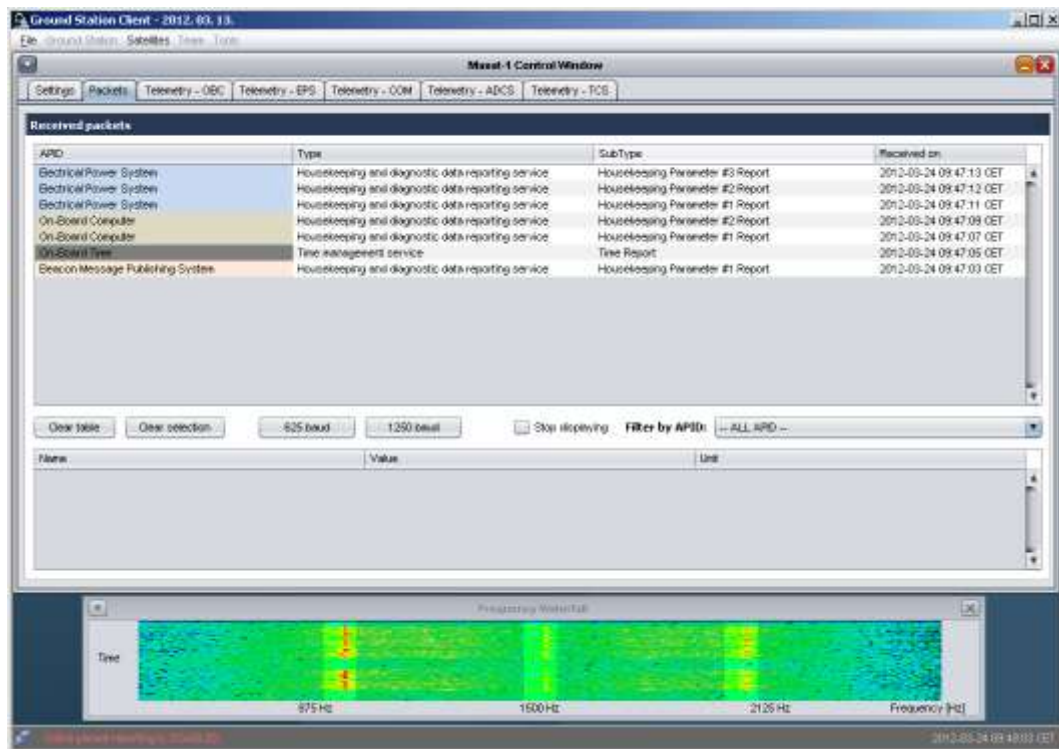
A sikeres pályára állítás után a műhold megkezdte normál üzemét – 26. ábra.



26. ábra Masat-1 normál üzemű időzítés diagramja

Normál üzemben a műhold ideje háromnegyedét telemetriaadatok sugárzásával tölti. Külön parancs kiküldésével lehetséges a műhold működését és méréseit befolyásolni, valamint a normál adatokon túlmutató paramétereket lekérni. A vezérlő állomások tartalékolt elrendezésben működnek, az elsődleges állomás Budapesten, a tartalék állomás Érden található.

A földi állomáson futó vezérlő és jelfeldolgozó szoftver egy pillanatfelvétele látható a 27. ábrán.



27. ábra Masat-1 földi állomás vezérlő szoftver

A földi állomások teljes rendszeréhez tartoznak a világon elszórtan található rádióamatőrök, akik folyamatosan figyelik a műholdat, és rendszeresen küldenek vett adatcsomagokat. A Masat-1 honlapja ([cubesat.bme.hu](http://cubesat.bme.hu)) alapján a rádióamatőrvételi statisztika látható a 28. ábrán.

## Vételi statisztika

A küldetés naponta összesített állapotát és a jövőbeni működési módokat foglaljuk össze az érdeklődőknek.

### Műhold vételi statisztika (2012. 03. 12.)

A statisztikát naponta frissítjük, igyekszünk mindig pontos adatokat közölni, ha valaki mégis kimaradt volna, kérem jelezze! A csapat nagyon hálás minden közreműködőnek!

Beérkezett csomagok száma:	271.264
Résztevő rádióamatőrök száma:	133

Ez a statisztika nem tartalmazza a BME elsődleges és tartalék állomás által vett csomagok számát, tisztán a rádióamatőrök által összegyűjtött adatsomagok. Egy adatsomag mérete 64 Byte.

### Top 5 rádióamatőr

- ▶ ZL2BX – 43.379 csomag – Új-Zéland
- ▶ VE6AXL – 38.013 csomag – Kanada
- ▶ OM3BC – 26.438 csomag – Szlovákia
- ▶ W8KRF – 18.232 csomag – Amerikai Egyesült Államok
- ▶ VK5HI – 15.846 csomag – Ausztrália

28. ábra Vételi statisztika

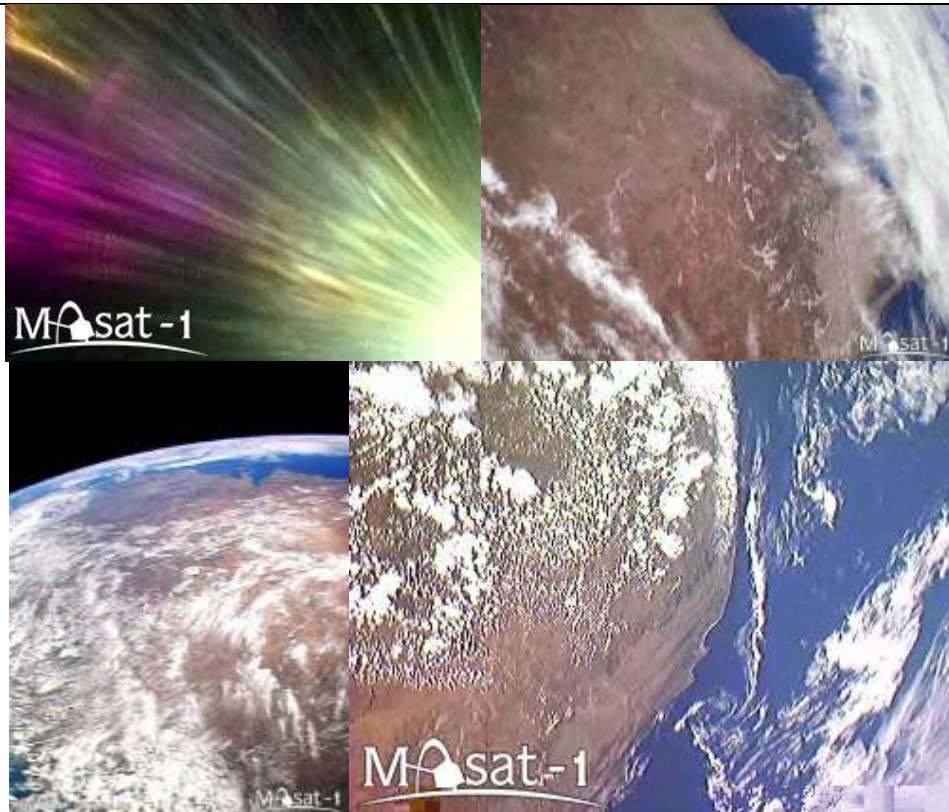
## KAMERA

A műholdon elhelyezésre került egy kis felbontású kamera, amely segítségével a Földről fényképfelvétel készíthető – 29. ábra. A kamera tömege kevesebb, mint 20 gramm, az elkészített színes képek felbontása 640x480 pixel. A Cubesat műholdak kategóriájában a Masat-1 által elkészített felvételek minősége kiemelkedő.



29. ábra Masat-1 kamera

Az alábbiakban bemutatunk néhányat a Masat-1 által elkészített fotók közül – 30. ábra:



30. ábra Fotómontázs a Masat-1 felvételeiből

## ÖSSZEFOGLALÁS

A Masat-1 kisműhold egy hónapja üzemel a világűrben. Az üzemeltetés kezdete óta nem tapasztaltunk említést érdemlő hibát, az egyes alrendszerek a tervezési paraméterekkel összhangban működnek. A műhold hőmérséklet-egyensúlya megfelelő, az akkumulátor – a fűtésnek köszönhetően – mindig az ideális üzemi hőmérséklet-tartományán belül marad. A Vega hordozórakéta első felbocsátásán részt vevő további csapatok műholdjai kevésbé hozzáférhetőek a rádióamatőröknek, míg a Masat-1 már működése első hetében OSCAR minősítést, és MO-72 nevet kapott.

A műhold űrbéli viselkedését leíró adatsorok letöltése és feldolgozása cikkünk leadásának időpontjában is zajlik, így részletesebb adatokról előadásunkban szeretnénk beszámolni.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ESA VEGA VV01 LAUCH CAMPAIGN, [http://www.esa.int/SPECIALS/Vega/SEMY64BX9WG\\_mg\\_1.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Vega/SEMY64BX9WG_mg_1.html) 2012. 03. 25. szerinti állapot
- [2] Survey of CubeSat Communication Systems, BRYAN KLOFAS AND JASON ANDERSON, California Polytechnic State University, 2008. november AMSAT, [www.amsat.org](http://www.amsat.org), 2012. 03. 25. szerinti állapot
- [3] AMSAT - MO-72 STATUS, <http://www.amsat.org/amsat-new/satellites/satInfo.php?satID=149&retURL=/satellites/status.php>, 2012. 03. 25.
- [4] CUBESAT DESIGN SPECIFICATION (CDS) REV. 12. California Polytechnic State University, 2009.
- [5] CPX: Design of a Standard Cubesat Software Bus, JACOB FARKAS, California Polytechnic State University, 2005.
- [6] Development of a Family of Picosatellite Deployers Based on the Cubesat Standard Nason, Puig-Suari, California Polytechnic State University, Twiggs, Director Space Systems Development Laboratory, Stanford University IEEE, 2002

Grósz Andor<sup>1</sup> – Szatmári Ákos<sup>2</sup>

## AZ ENERGIAITAL-FOGYASZTÁS REPÜLŐORVOSI VONATKOZÁSAI<sup>3</sup>

*Az energiaiitalok felvevőpiaca, fogyasztásuk mértéke évről évre nő, ám kevesen vannak tisztában azok összetevőivel, valós élettani hatásaikkal. Különösen igaz ez a szesződéses és hivatásos hajózó- és földi kiszolgálóállományra, akik esetében a rendelkezésre álló, a témával érdemben foglalkozó publikációk száma meglehetősen kevés, illetve azok is ellentmondóak. Jelen közlemény rövid történeti áttekintés után ismerteti az energiaiitalok fő alkotóelemeit, összehasonlítóképpen felsorol néhány terméket, továbbá ismerteti a humán szervezetre kifejttet fizikális és mentális hatásait. A szerzők a közlemény végén megfogalmazzák az energiaiitalok felhasználási korlátait is.*

### **THE AEROMEDICAL ASPECTS OF ENERGY DRINK CONSUMPTION**

*The market and volume of energy drink consumption increases each year but people have only limited knowledge of their ingredients and actual physiological effects. This is especially true for the on-contract and professional aviators and ground personnel, in case of whom the publications on this topic are rather poor or contradictory. After a short historical introduction this article reviews the ingredients of energy drinks, lists a few product as a comparison, and informs about the physical and mental effects of energy drinks on the human body. In the end of the article the authors also word the limitations of energy drink consumption.*

## TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉS

Az első energiaiital valószínűleg Skóciából származik, ahol 1901-ben kezdték meg az Irn-Bru (iron brew, vasfőzet) forgalmazását. Az Egyesült Királyság kórházaiban a betegek felépülésének elősegítésére 1929-ben vezették be a Lucozade Energy nevű terméket, melyet roborálószerként még a 1980-as években is forgalmaztak. Japánban az 1960-as évektől árusították a Lipovitan nevű készítményt, illetve Dél-Koreában nem sokkal később a „genki” italokat, melyeket egyértelműen elkülönítettek az üdítőitaloktól (például barna gyógyszeres üvegben vagy csak gyógyszerházakban voltak kaphatóak). Az amerikai kontinens üdítőitalóriásai közül a Pepsi Cola dobott először piacra energiaiitalt Josta néven 1995-ben. Európában 1994-ben Ausztriában tűnt fel az S. Spitz által gyártott Power Horse, de a ma is kapható ital az időközben létrejött vagy beszivárgott rendkívül sok egyéb márka miatt soha nem tudott akkora piaci részesedést elérni, mint a szintén osztrák eredetű, napjainkban leginkább közismert riválisa, a Red Bull. Noha az Egyesült Államokban az üdítőitalóriások (Coca-Cola, Pepsi) és a később megjelent új energiaiital-márkák miatt (pl. Rockstar, Monster) a Red Bull 1998-as 70%-os részesedése napjainkra 45% körülire csökkent, a vállalkozás pénzügyi mutatói folyamatosan pozitív értékeket jeleznek. Vannak azonban olyan országok, melyek a Red Bull forgalmazását általában helyi haláleset miatt nem vagy csak receptre felírva, gyógyszerházakban

<sup>1</sup> Állami Egészségügyi Központ

<sup>2</sup> Állami Egészségügyi Központ

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Szabó Sándor András o. alezredes, Ph.D., MH Honvédkórház, Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Kutató Intézet, Kecskemét, sasi19620@gmail.com

(például Franciaországban, Dániában, Svédországban, Norvégiában), vagy az eredeti (Lipovitan-) összetétel megváltoztatásával (például Japánban, ahol a kiindulási alapként szolgáló tonikált már régóta forgalmazzák) engedélyezik, az energiasital karrierje a mai napig töretlen. E fogyasztási cikkek eddigi történelmük során számos változáson mentek keresztül, egyvalami azonban változatlan maradt: a kiindulási alapként szolgáló ősi keleti italokban található három alapvető kulcsösszetevő; a taurin nevű aminosav, a koffein és a glükuronolakton nevű szénhidrát. [4][6]

## FOGYASZTÁSI ADATOK

Az energiasitalok fogyasztásának mértéke világszerte nő, 12-13 évvel ezelőtti tömeges bevezetésük jelentős mértékben átalakította az üdítő- és sportitalpiacot. Ausztráliában például a vízalapú üdítőitalok eladásai 1997. és 2006. között 13%-kal növekedtek, viszont az eladott mennyiségben belüli megoszlások erőteljesen eltolódtak a cukormentes üdítőitalok, a jeges tea és a sport-/energiasitalok felé. Az energiasitalok fogyasztóközönsége nagyrészt fiatalokból áll. A vásárlók 65%-a 13 és 55 év közötti, ezen alpopuláció 65%-a férfi. Az arányokból kitűnik, hogy a legnagyobb fogyasztók a fiatal férfiak, akik a fegyveres erők zömét is alkotják. Az energiasitalokon feltüntetett figyelmeztetések a terhes nők, kismamák, koffeinérzékeny egyének és gyermekek számára már egyetlen kiszérelés elfogyasztását is egyértelműen tiltják. Malinauskas és mtsai 2007-ben úgy találták, hogy a főiskolai hallgatók 51%-a rendszeresen fogyaszt energiasitalokat. Ebből Paddock 2008-ban azt a következtetést vonta le, hogy az amatőr vagy versenyszerű sporttevékenységet folytató diákok körében a fogyasztás mértéke egyező vagy magasabb, hiszen az energiasitalok reklámjai szellemi, illetve fizikai erőpróba előtt kifejezetten ajánlják e készítmények fogyasztását. Miller szintén 2008-ban egy új fogalmat is bevezetett. A „toxikus macsó személyiség” („toxic jock identity”) meghatározás szerint az energiasital elfogyasztása után kialakuló egy olyan ideiglenes állapot, amely a tevékenységhez kapcsolódóan megnövekedett kockázatvállaláshoz, veszélyes viselkedésmóddhoz és túlzott maszkulinitáshoz vezet. Ez a fegyveres erőknél akár életveszélyes következményekkel is járhat. [4][13][16]

## AZ ENERGIAITALOK ÖSSZETEVŐI

Nevük alapján az energiasitalok a hagyományos üdítőitaloknál több energiát tárolnak, illetve képesek átadni az emberi szervezetnek, noha kalóriatartalmuk általában alacsonyabb azokénál. Hirdetéseik szerint fokozzák a szellemi és fizikai teljesítőképességet. Megemlítendő, hogy a tápcsatorna vonatkozásában a különféle üdítőitalok bélhámsejtekre kifejtett hatásairól a Caco-2 sejtvonal ásványvíz, frissen facsart narancslé, dobozos narancslé, kóla, energiasital, fekete/kamilla-/zöld tea és frissen főzött kávé jelenlétében történő 24 órás inkubálása után azt derült ki, hogy toxicitás és sejtnövekedés-elősegítő hatás szempontjából az egyes italok között nincs különbség. A frissen facsart narancslé fokozta a sejtek mitokondriális aktivitását, az energiasitalok nem. [2]

Összetevőik között leggyakrabban – a Lipovitan fent említett három alapvető alkotóelemét is beleértve – metilxantinok (például koffein, de lehet akár teobromin is), B-vitaminok (elsősorban B1, B2, B6 és B12), gyógynövénykivonatok, a magas koffeintartalmú (általában 10-15

mg) guarana (általában 1000 mg), taurin, a (pár tíz-pár száz mg) ginzeng többféle kivonata (amerikai, szibériai stb.), cukrozott vagy édesített víz, inozitol, karnitin, (általában 600 mg) glükuronolakton és ginkgobiloba-kivonat található. Egyesekben folsav, valamint nyomelemek is szerepelnek. Szénhidrát tartalmuk attól függően eltérő, hogy az illető márka cukrot vagy édesítőszerrel alkalmaz. A központi összetevő az önmagában, guaranában vagy egyéb kivonatban található koffein. Egy átlagos, 237-250 ml-es palackban 70-80 mg, a 480-500 ml-esben 150 mg, de akár 400 mg koffein is található. Az 1. táblázatban különféle italok koffeintartalmának összehasonlítása látható. [9]

Terméknév	Koffeintartalom (mg/l)	1 kiszerelési egység koffeintartalma
<i>Coca-Cola (Classic)</i>	97,05	23 mg/237 ml
<i>Coca-Cola (Diet)</i>	110-141	39-50 mg/355 ml
<i>Kólák</i>	95-130	34-46 mg/355 ml
<i>Kávé (főzött)</i>	230-580	56-128 mg/237 ml
<i>Kávé (instant)</i>	300-467	71-111 mg/237 ml
<i>Kávé (presszó)</i>	600-1700	36-102 mg/59,15 ml
<i>Dr. Pepper</i>	187	55 mg/237 ml 42 mg/355 ml
<i>Pepsi-Cola</i>	104	25 mg/237 ml 37 mg/355 ml
<i>Tea</i>	169-211	40-50 mg/237 ml

1. táblázat Különböző italok koffeintartalmának összehasonlítása [1]

## AZ ENERGIAITALOK FŐ ALKOTÓELEMEINEK ÉLETTANI HATÁSAI

**L-aurin:** bevitele ételmiszerrel történik, a szervezetben metionin- vagy ciszteinprekurzorokból szintetizálódik. Szerepe van az epe viszkozitásának fenntartásában, antiaritmiás és pozitív inotropiás hatással rendelkezik. Szükséges a retina és a látás normál anyagcsere-folyamataihoz, továbbá növelheti az inzulin elválasztását. A szervezet napi taurinigénye 60 mg (az energiaitalok kiszerelésenként általában 1000 mg-ot tartalmaznak). Eddig egyetlen közlemény sem utalt arra, hogy tartós fogyasztásának egészségjavító hatása lenne. Túladagolásával kapcsolatban nincsenek egyértelmű adatok. [4][9]

**L-karnitin:** egy természetben is előforduló aminosavszerű vegyület, ami a zsírsavak anyagcserejében játszik szerepet (zsírbontást segíti elő, erre a célra főleg testépítők használják nagy mennyiségben súlycsökkentés céljából). Történtek vizsgálatok fogyást elősegítő szerepének tisztázására, de ezt a hipotézist egyetlen tanulmány sem igazolta. 2000 mg/nap alatti dózisban szedve káros hatása nem mutatható ki, felette hasmenés, testszag, hányás, kiütés jelentkezhet. [4][9]

**Ginzeng:** 5000 éve használják gyógynövényként, az amerikai kontinensen és a közel-keleti régiókban őshonos. Számos alfaja ismert, gyökerének kivonatát vagy szárított örleményét hasznosítják. Az energiaitalokban a „Panax” nevű alfaj extraktuma található meg. Atléták széles körben használják energiaforrásként, mert növeli a zsírfelhasználást és javítja a hosszú időn át kifejtett izommunkát (alacsonyabb artériás középnyomás és szívfrekvencia). Erősítő

hatással van a kognitív folyamatokra is. Az amerikai ginzeng a vizsgálatok szerint csökkenti a megfázás és az influenzavírus okozta tünetek erősségét. [4][9][14]

**Guarana:** a közép-amazóniai medencében élő növény. Őshonos területén régóta használják természetes stimulálószerként, főleg italokban. Serkentő hatásának nagy részét magas koffeintartalma okozza (a kivonat 2-2,5%-a), ami terápiás megkettőződéshez vezethet: az energiaiitalokban található koffein és a guarana koffeintartalma kétszeres erősségű koffeinhatást hoz létre. Ez főleg megvonáskor okoz hátrányos tüneteket. Találhatóak benne pszichoaktív anyagok is, melyek javítják a kognitív teljesítményt és a koncentrálóképeséget (75 mg guaranakivonat – feltehetően a koffeinnel való kombinálódás útján – már kifejti ezt a hatást) [4][9].

**Koffein:** számos növényben (kávébabban, tealevélben, csokoládéban, kakaóbabban, kóladióban) megtalálható, világszerte használt természetes pszichostimulálószer. Hamar felszívódik, hatása elfogyasztása után körülbelül 1 órával tetőzik. Az energiaiitalok képességfokozó tulajdonságaiért elsősorban ez a vegyület a felelős.

A koffein pozitív inotrop és chronotrop hatást fejt ki a szívizomzatra (vagyis a szívverés erősebb és gyorsabb lesz) azáltal, hogy megemeli a kalcium tranzienst amplitúdóját. A szívizomsejtek fokozottan érzékenyek lesznek a megnövekedett kalciumbeáramlásra, mely már az akciós potenciál szintje alatt létrejön. A gyorsabban és erősebben verő szív következményesen emeli a vérnyomást, javítva a szervek (pl. az izmok, az agy, a vese) perfúzióját.

A koffein a harántcsíkolt izmokra is hat (a szívizomzatnál ismertetett módon javítja a szarkoplazmatikus retikulum kalciumáteresztő képességét), mert a koffeinhatás alatt lévő kifáradt izom szubmaximális erő kifejtése nagyobb a koffeinhatásban nem részesült izoménál.

Kb. 300-350 mg (más szerzők által 1-9 mg/tskg értékben kifejezett) koffein bevitele 1 órával az edzés előtt jelentősen (~20%-kal) növeli a fizikai munkavégzés várható erő- és időtartamát. A várható erő kifejtés növekedésének mértéke nincs közvetlen összefüggésben a bevitt koffeindózissal, továbbá eltérő az egyének koffeintoleranciája is. A koffein növeli a statikus és dinamikus fizikai munkavégzés erősségét és időtartamát is. Noha a szívfrekvencia és az oxigénfogyasztás egyénenként változó mértékben, de általában csak kismértékben emelkedik, a koffeinhatás szubjektíve is megkönnyíti a fizikai erő kifejtést: az alanyok ilyenkor könnyebben érzik a feladatot, mint előzetes koffeinbevétel nélkül (oka az ingerületátvitel küszöbének csökkenése, az akciós potenciálok hamarabbi és könnyebb kialakulása, illetve a motoros recruitment könnyebbé és gyorsabbá válása).

Koffeinhatás alatti fizikai munkavégzéskor javul a zsírmetabolizmus és csökken a szénhidrátok oxidációja, vagyis a szervezet ilyenkor elsősorban zsírt éget és cukrot raktároz. A koffein fokozza az emésztőnedvek elválasztását és diuretikus hatású.

Szellemi hatásai között elsősorban az emelkedett katekolaminszint miatti, egyénenként eltérő mértékű neurokognitív teljesítmény- és objektív figyelemjavulás, továbbá nagymértékű fáradtságcsökkenés említhető.

Jelentős mennyiségben ( $\geq 1$  g) fogyasztva motoros agitációhoz, görcsökhöz, izgatottsághoz, tachycardiához, extrasystolékhoz, fokozott diuresishez (ami meleg környezetben a folyadékvesztés miatt rontja a hőháztartás kiegyenlítőképeséget) és alvászavarokhoz vezet [8]. Nagyobb mennyiségű koffein bevitelkor a szívizomsejtek myoplasmájában nemcsak

systolében, hanem diastolében is folytatódik a kalciumfelhalmozódás, rontva a szívizom elernyedési (oxigenizálódási) képességét. További dózisznövelés (>5 mmol/l, ~2 g) tartós (szív)izomösszehúzódnáshoz és elsősorban kamrafibrilláció miatti halálhoz vezethet („koffeinkontraktúra”).

A koffein legtöbb fogyasztójánál szerfüggőség alakul ki, ami megvonásnál fejfájás, irritabilitás, megnövekedett fáradtságérzet, depresszív tünetek, csökkent figyelem és koncentrációképesség formájában jelentkezik. A tünetek a megvonás után 12-24 órával kezdődnek, 20-48 órával később tetőznek és általában 1 hétig tartanak [3][5][19].

**Cukor (glükóz, fruktóz):** Fizikai munkavégzés során a szervezet energiaigényének 40-50%-át glikogén, a maradékot pedig zsír elégetésével fedezi. Az izmok és a máj glikogénraktárai viszonylag hamar kimerülnek, ami a fizikai munkavégzőképesség drasztikus romlásához, fáradtsághoz, leromlott koncentrációképességhez, kézremegéshez, izzadáshoz, szédüléshez, végső soron pedig kimerüléshez („eléhezéshez”) vezet annak ellenére, hogy oxigén és zsír közel korlátlanul áll rendelkezésre. Ha az energiatartalékos helyett cukrot tartalmaz, akkor az a koffeinnel együtt megfelelő vízpótlás mellett előidézhet rövid idejű, ideiglenes teljesítménycsökkenést. A hőháztartás szempontjából előnyösnek tűnhet a cukorral bevitt vízmennyiség, de ez a koffein diuretikus hatása miatt hamar kiürül. A hiányzó glikogén pótlása csak napokig tartó étrendi feltöltéssel lehetséges, az energiatartalékban található pár gramm cukorral nem. [4][9]



A 2. táblázatban néhány gyakoribb energiatál felsorolása található. A táblázatból jól látszik az egyes márkák eltérő koffeintartalma.

Energiatál neve	Koffeintartalom (mg/l)	1 kiszereési egység koffeintartalma
5-Hour Energy	1352,49	80 mg/59,15 ml
AMP Energy	298	71 mg/237 ml
Bomba*	320	80 mg/250 ml
Boo Koo	507	360 mg/710 ml
Full Throttle (Burn*,**)	320	80 mg/250 ml
Cintron Energy Enhancer	422,83	200 mg/473 ml
Coca-Cola Blāk	194,43	46 mg/237 ml
Cocaine	1120	280 mg/250 ml
Crave	338,14	160 mg/473,18 ml
Crunk	421,94	100 mg/237 ml
Diet Pepsi Max	194,43	46 mg/237 ml 69 mg/355 ml 115 mg/591 ml
Emerge Stimulation Drink	300	75 mg/250ml
Harry Dougan's (Egyesült Királyság)	420	42 mg/100 ml
Hell*	320	80 mg/250 ml
Irn-Bru 32	320	32 mg/100 ml 80 mg/250 ml
Jolt Cola	201	140 mg/695 ml
Jolt Endurance Shots	2639,92	150 mg/56,82 ml
NRG*	320	80 mg/250 ml
Red Bull*	321	80 mg/250 ml
Red-Eye	321,21	106 mg/330 ml
Redline	937,5	250 mg/237 ml
Red Rooster	300	30 mg/100 ml 75 mg/250 ml
Relentless	321	160 mg/500 ml
Reload	394	130 mg/330 ml
Rip It	431,3	102 mg/240 ml
Rockstar	337,55	80 mg/237 ml 160 mg/480 ml
SoBe Adrenaline Rush	317	78 mg/480 ml
Morrisons Energy Source	300	75 mg/250ml
V-power*	320	80 mg/250 ml
Vault	196	47 mg/237 ml 70,5 mg/355 ml 117,5 mg/591 ml
XL*	320	80 mg/250 ml
XS	334	83 mg/250 ml

\* hazánkban is kapható energiatalok

\*\* a „Full Throttle” energiatál Európában „Burn” néven kapható

2. táblázat Néhány külföldön és Magyarországon kapható energiatál koffeintartalma részben saját gyűjtés alapján [7]

Franciaország az energiatalkok forgalmazását Ross Cooney, egy 18 éves atléta halála óta tiltja, aki négy doboz energiatalkot fogyasztott el egy kosárlabda-mérkőzés előtt. A Floridai Mérgezésellenőrzési Központ (Florida Poison Control Centre) 2007. januárja és 2008. márciusa között 39, 2 (!) és 20 év közötti személyt látott el koffeintúladagolásos tünetek miatt. Egy kaliforniai iskolai szakápolónak 2007-ben 3 gyermeket kellett kórházba küldenie mentőautóval súlyos ritmuszavarok miatt energiatalk-fogyasztás után. Idevágó tény, hogy ritmuszavarok gyakorisága még az ellenőrzött körülmények között végzett humán próbák alatt is kimutathatóan nőtt, noha a kísérletek során súlyos vagy életet veszélyeztető ritmuszavar nem fordult elő. Az Amerikai Egyesült Államokban az energiatalkok önmagukban történő fogyasztása kapcsán is többen hányingerről, szívritmuszavarokról számoltak be.

Az FDA (Food and Drug Administration, Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatal) az energiatalkok üdítőitalként, táplálékkiegészítőként vagy egyéb italként való engedélyezésével kapcsolatban egyelőre nem adott ki hivatalos közleményt, figyelmeztetést vagy tiltást. Beszámoltak több olyan személyről is, akiknél rendszeres, nagymennyiségű energiatalk-fogyasztás mellett több alkalommal epilepsziás roham lépett fel. A rohamok az energiatalkok koffein-, guarana- és taurintartalmával voltak összefüggésbe hozhatóak. Az alanyoknál az epilepsziás attackok az energiatalkok fogyasztásától való teljes tartózkodás bevezetése után megszűntek [8,12,16].

Mindezek ismeretében az energiatalkok „jótékony” hatásával kapcsolatban érdemes áttekinteni néhány idevágó közlemény meglehetősen ellentmondó konklúzióját. Fornicola 2007-ben megállapította, hogy energiatalkokra a sporttevékenység során nyújtott teljesítmény vonatkozásában egyáltalán nincs tényleges szükség, hiszen a gyors koffeinbevitel a későbbi folyadékvesztés és dehidráció miatt csak rontja azt. Alátámasztásképpen megemlítette, hogy 4%-os dehidráció már 20%-os teljesítményvesztést okoz. Ezzel ellentétben a Manitobai Sportorvostani Tanács (Sports Medicine Council of Manitoba) internetes honlapján megjelent vélemény, miszerint az energiatalkok fogyasztása igenis előnyös sporttevékenység végzésekor, mert a fizikai terhelés elején a szervezet főleg zsirokból nyer energiát, ami kíméli a glikogénraktárakat és a teljesítmény javítása révén megnyújtja a végzett fizikai vagy szellemi munka effektív idejét. Desbrow és Leveritt 2007-ben azzal érvelt, hogy a fizikai és szellemi teljesítmény javítása céljából az elit sportolók is használnak koffeint. Megjegyezték azonban, hogy a koffeint használó versenyzők közül meglehetősen kevés tudja, hogy melyik termékben található koffein és ezek mennyi koffeint tartalmaznak. A férfi sportolók aerob kapacitásának vizsgálatakor Umana-Alvarado és Moncada-Jiménez 2005-ben azt találta, hogy a sporttevékenység előtt elfogyasztott energiatalkok egyáltalán nem növelik a teljesítményt. Mindazonáltal hozzátették: a vizsgált személyek a teszt után szubjektíve kevésbé érezték magukat fáradtnak [16].

Megemlíthetőek a humán centrifugában végzett G-tűrési próbák is, amelyek gyakorlatilag erőnléti, hirtelen vagy fokozatos terhelési teszteknek felelnek meg. Az idevágó adatokat tartalmazó közlemény leírja: koffeinhatásban az alanyok a puszta számok alapján jobban teljesítettek G-tűrés terén és a kiválasztott izmok erő kifejtése is nagyobb volt, de a kapott eredmények egyike sem volt szignifikáns. E kísérletben nem észleltek jelentős eltérést az alanyok nyugalmi vagy terhelés alatti szívfrekvenciájában és systolés vagy diastolés vérnyomásában sem. Mindezek révén a szerzők azt a következtetést vonták le, hogy 1-2 doboz energiatalk szervezetbe való be-

vitele nem vezet a fizikai ellenállóképesség és az erő kifejtés érdemleges növekedéséhez, így fogyasztásuk – különösen ilyen célokra - felesleges. Noha az utóbbi cikk szerzői kiemelt prioritásként kezelték az esetlegesen előforduló szívritmuszavarok előfordulását, nem regisztráltak komoly ritmuseltéréseket. Külön megfigyelték a fokozatos és a hirtelen terhelésnövekedés (és a következményes lassabb vagy gyors erő kifejtés) toleranciáját is, melyek közül az elsónél érezhető és kimutatható volt a koffein fizikai teljesítményjavító hatása, hirtelen terhelésnövekedéskor (pl. légi harc imitálásakor) pedig nem. A szerzők továbbá megállapították: a javulás az energiaital elfogyasztása utáni 30 percben a legszembetűnőbb, a következő 30 percben gyengébb, míg utána alig kimutató a pozitív koffeinhatás az izmokra és az egyéb mért paraméterekre. Beck megfigyelése szerint az energiaitalok ismételt nagy terhelésnél fejtenek ki feladatkönnyítő hatást, de a sokszor történő terhelésismétléskor ez a hatás elvész. Andersen hasonlóan írt le kajakozóknál, ahol a teljesítményjavulás az első 500 méteren volt a legnagyobb. Több szerző is leírta a térdextensor izmok jelentős teljesítményjavulását koffeinhatásban, ez természetesen nem minden sportágban/foglalkozásban bír jelentőséggel [20].

A fizikai és szellemi teljesítményjavításból egyenesen következik az energiaitalok elsősorban amatőr sportolói és egyéb célú felhasználása. Mindkettő komoly veszélyeket rejt magában, hiszen amatőr felhasználás esetén orvosi felügyelet általában nem áll rendelkezésre. A koffeinérzékenység, a nyugalmi szívfrekvencia, a vérnyomás és a kardiovaszkuláris állapot (melyhez rejtett betegségek társulhatnak, pl. rejtett vezetési zavarok, érmalformációk, shuntök, érfalgyengeségi rendellenességek) egyénenként eltérőek, így a hirtelen bekövetkező súlyos események kockázata magas. Azonnali beavatkozás nélkül ezek komoly egészségkárosodáshoz, akár halálhoz is vezethetnek. A koffein és az egyéb alkotóelemek fizikai teljesítményfokozás céljára történő alkalmazásának további hátránya a szerek hatásának relatíve hirtelen megszűnése, ami azt eredményezi, hogy az addig fenntartott teljesítményszinthez szükséges erő kifejtéshez nem fog elegendő (koffein- és cukor) tartalék rendelkezésre állni. Ez hirtelen nagymértékű, esetlegesen további tartós, de sokáig nem fenntartható erő kifejtésre fogja kényszeríteni a szervezetet. Az eredmény a koffein- és cukormegvonásnál leírtakhoz hasonló.

Az energiaitalok előzőekben felsorolt fő alkotóelemei nem szerepelnek a Nemzetközi Doppingellenes Ügynökség 2008. januárjától érvényes, doppingszerekre vonatkozó tiltólistáján. Noha a koffein megtalálható volt a felsorolásban, később el lett távolítva, mert kis mennyiségben – elsősorban közvetett vérnyomásemelő-erősszehúzó hatása miatt – napjainkban több újabb megfázás elleni (pl. a Coldrex tabletta 25 mg koffeint tartalmaz) és egyéb készítmény egyik alapvető összetevője. Az efféle kis koffeinmennyiségek természetesen nem tekinthetők szignifikáns kockázati tényezőnek, de alkalmat kínálnak a szerrel való visszaélésre, aminek a Nemzetközi Doppingellenes Ügynökség hivatásos sportolóknál a terápiás készítmény használatának rendszeres mintavételen alapuló felügyeletével veszi elejét. Az ügynökség 2008-as felügyeleti programjában a koffein mint kizárólag verseny alkalmával vizsgálandó szer szerepel. [10][11]

Szárazföldi, vízi vagy légi járművet foglalkozási célból vezető, továbbá fegyveres tevékenységet folytató személyek esetében a fentiekben felsorolt összetevők emberi szervezetre kifejtett hatása miatt önmagában is kimondható az energiaitalok fogyasztásának korlátozása. Meg kell említeni: az alkotóelemek idegen közegben való humán felhasználását (például bűvároknál vagy pilótáknál) a készítményeket forgalmazó cégek soha nem vizsgálták. Így azok speciális körülmények

(alacsony vagy túlnyomás, hypoxia, hőmérsékleti eltérések stb.) között fellépő esetleges mellékhatásait sem ismerjük, kiderülésükre pedig csak véletlenszerűen, kisebb-nagyobb mértékű inkapacitálódás után kerülne sor, ami egy járművet irányító/fejvert használó személynél természetesen nem megengedhető. Az ilyen esetekben a szükséges szellemi-fizikai képességek efféle tevékenység alatti rendelkezésre állását a szerhasználatot tiltó, megelőző jellegű szigor biztosíthatja. Nem sportolói szakterületként, de sportolóknál is kitűnően használható példaként említhető az Amerikai Tengerészgyalogság szerhasználatot szabályozó irányelve, miszerint az energiatalokban a sportitalok összetevőin felüli további alkotóelemek sportcélokra általában nincsenek jóváhagyva. Ebből adódóan e készítmények fogyasztása repülőszolgálat alatt és előtt nem engedélyezett az aktív repülő-hajózó állomány számára. A légi haderőnemnél az l-karnitin például egyértelműen a tiltólistás anyagok között szerepel. Az „A” (engedélyezett), „B” (orvosi felügyelettel engedélyezett) és „C” (nem engedélyezett) osztályokból álló veszélyességi táblázatba a taurin, a ginzeng és a guarana bizonyíték hiányában nincs besorolva, ezért alkalmazásuk a lehetséges káros hatások megelőzése érdekében szintén tiltott. Ilyen szerek használata esetén a Tengerészgyalogságnál az illető pilótát 24 órára ki kell vonni az aktív szolgálatból. [21]

## AZ ENERGIATALOK KOGNITÍV ÉS PSZICHÉS KÉPESSÉGEKRE KIFEJTETT HATÁSAI

Az energiatalok kognitív és pszichológiai teljesítményjavító hatásaiért a mindennapi élet vonatkozásaiban elsősorban a koffein felel, kisebb részükért pedig a szénhidrátok. A kísérleti eredmények szerint az energiatalok fárasztó, nagy odafigyelést igénylő kognitív feladatok megoldása közben javítják és/vagy tartják fenn az adott hangulati szintet, teljesítményt. Megvonásukkor a koncentrációs képesség több placebóval összehasonlítva is jelentősen romlik. Ugyanezek figyelhetőek meg egyszerű koffeinmegvonáskor, tehát az energiatalok által kifejlesztett pozitív hatásokért főként e hatóanyag felelős. A szénhidrátok típusaiktól (valamint felszívódási sebességüktől és koffeinfelszívódást elősegítő/gátló hatásaiktól) függően eltérően javítják a hangulatot; némelyikük azonnal, mások csak később fejtik ki hatásaikat. [13, 18]

A fő hatóanyagként koffeint, taurint és glükuronolaktont tartalmazó Red Bull pszichomotoros teljesítményre (reakcióidő, koncentráció, memória), szubjektív figyelemre és fizikai teljesítményre kifejlesztett hatásainak vizsgálatakor az derült ki, hogy az energiatal átmenetileg jelentősen javítja mindhárom vizsgált kritériumot. A jelenség oka a koffein volt [1].

Az energiatalokat a gépkocsivezetők is előszeretettel használják éberségi szintjük emelésére, fenntartására. Egy előzetes alvásmegvonást is tartalmazó, szimulátorban végzett vezetési feladat során a 80 mg koffeint, továbbá taurint és glükuronolaktont tartalmazó energiatalok csak az első 90 percben fejtettek ki kedvező hatást. Az alanyok teljesítménye később az erősödő fáradtság miatt a kipihent, éber állapotban nyújtott szint alá esett. Az átmeneti javulás az energiatal koffeintartalmával volt összefüggésben [17].

Az energiatalok (így a Red Bull is) népszerű tanulási segédletek. A kognitív teljesítményre kifejlesztett esetleges átmeneti hatásuk nagyrészt a két fő hatóanyagnak, a koffeinnek és a taurinnak köszönhető, de ezek a kísérletes eredmények szerint, a rövidtávú memóriát nem befolyásolják, mindössze csökkentik a szívfrekvenciát (vérnyomásnövekedés okozta

kompenzatorikus bradycardia) és emelik az artériás középnyomást, javítva az agy vér, valamint tápanyagellátását [18].

Tanulmányozták azt is, hogy az energiatálcok egyformán befolyásolják-e a férfi és a női gondolkodást. Energiatálc, illetve placebo elfogyasztása után, továbbá ezek nélkül vizsgálva a férfiaknál a reakcióidőt mérő feladatok megoldása sikerült jelentősen gyorsabban, a nőknél pedig az igen-nem válaszokat igénylőké [15].

## AZ ENERGIATÁLCOK FELHASZNÁLÁSI KORLÁTAI

A rendelkezésre álló adatok alapján és hazai szabályozás hiányában az amatőr vagy hivatásos, fizikai vagy szellemi foglalkozási tevékenységet végző személyek esetében egyértelműen megfogalmazható az energiatálcok erőpróba előtti, alatti és utáni fogyasztásának tiltása, melyet azok emberi szervezetre kifejtett hatásai és az esetlegesen fellépő megvonási tünetek indokolnak. Nem mindegyik energiatálc-összetevő ismert részletesen, csak kevésnek vizsgálták meg mélyrehatóan az emberi szervezetre kifejtett hatásait, egyéb anyagokkal való kölcsönhatásait. Mivel az egyének fogékonysága e vegyületekkel szemben eltérő, rendszeres, teljesítménynövelés céljára történő fogyasztásuk/fogyasztatásuk komoly lehetséges veszélyeket rejt.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] ALFORD, C., COX, H., WESCOTT, R.: The effects of Red Bull energy drink on human performance and mood. *Amino Acids*, Vol. 21, Number 2, September 2001, 139-150.
- [2] EKMEKCIOGLU, C., STRAUSS-BLASCHE, G., J. LEIBETSEDER V., MARKTL, W.: Toxicological and biochemical effects of different beverages on human intestinal cells – a review of human and animal data. *Food Research International*, Vol. 32., No. 6., July 1999, 421-427(7).
- [3] FONYÓ, A.: Az orvosi élettan tankönyve. Medicina, Budapest, 1997. 123., 433. o.
- [4] GRÓSZ A., SZATMÁRI Á.: Az energiatalok története és hatása az emberi szervezetre. *Orvosi Hetilap*, 149. évfolyam 2008/47, 2237-2244.
- [5] Gyógyszeratan. Szerk.: Fürst Zsuzsanna. Medicina, Budapest, 1999. 277.o.
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_drink](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_drink) (2008.11.11.)
- [7] [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_energy\\_drinks](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_energy_drinks) (2008.11.11.)
- [8] <http://www.medicalnewstoday.com/articles/5753.php> (2008.11.11.)
- [9] [http://www.sciencecases.org/energy\\_drinks/energy\\_drinks.pdf](http://www.sciencecases.org/energy_drinks/energy_drinks.pdf) (2008.11.11.)
- [10] [http://www.wada-ama.org/rtecontent/document/2008\\_List\\_En.pdf](http://www.wada-ama.org/rtecontent/document/2008_List_En.pdf) (2008.11.11.)
- [11] [http://www.wada-ama.org/rtecontent/document/code\\_v3.pdf](http://www.wada-ama.org/rtecontent/document/code_v3.pdf) (2008.11.11.)
- [12] JONES, S., IYADURAI, P., CHUNG, S.S.: New-onset seizures in adults: possible association with consumption of popular energy drinks. *Epilepsy & Behaviour*, Vol. 10., Issue 3, May 2007, 504-508.
- [13] LEVY, G., TAPSELL, L.: Shifts in purchasing patterns of non-alcoholic, water-based beverages in Australia, 1997-2006. *Nutrition & Dietetics*, Vol. 64., No. 4., December 2007, 268-279(12).
- [14] KENNEDY, D. et al.: Improved cognitive performance in human volunteers following administration of guarana (*Paullina cupana*) extract: comparison and interaction with *Panax ginseng*. *Pharmacol Biochem Behav*, 2004 Nov;79(3):401-11.
- [15] MUCIGNAT-CARETTA, C.: Changes in female cognitive performance after energetic drink consumption: a preliminary study. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*. Vol. 22., No. 6., August 1998, 1035-1042(8).
- [16] PADDOCK, R.: ENERGY drinks' effects on student athletes and implications for athletic departments. *The Sport Journal*, 2008 fall, Vol. 11, Number 4.
- [17] REYNER, L.A., HORNE, J.A.: Efficacy of a functional energy drink in counteracting driver sleepiness. *Physiology and behaviour*, Vol. 75., No. 3., March 2002, 331-335(5)
- [18] SMIT, H.J., COTTON, J.R., HUGHES, S.C., ROGERS, P.J.: Mood and cognitive performance effects of „energy” drink constituents: caffeine, glucose and carbonation. *Nutritional Neuroscience*, Vol. 7., No. 3., June 2004, 127-139(13).
- [19] Special aids to performance and conditioning. In: McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L.: *Exercise Physiology*, 2nd Ed. Lea & Febiger, Philadelphia, 1986. 406-407., 415-419.
- [20] WALKER, T.B., BALLDIN, U., FISCHER, J, STROM, W., WARREN, G.L.: Acceleration tolerance after ingestion of a commercial energy drink. *Aviat Space Environ Med* 2010; 81:1100-6.
- [21] WHITFIELD, D.: Rockstars, monsters and bulls: a review of energy drinks. *Contact*, Vol 31, No. 3, July 2007, 5-8.

Halászné dr. Tóth Alexandra<sup>1</sup> – Somosi Vilmos<sup>2</sup>

## AZ EURÓPAI UNIÓS ÉS A HAZAI LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÓI SZAKSZOLGÁLATI ENGEDÉLYEZÉSI SZABÁLYOZÁS ÖSSZEHOSONLÍTÁSA AZ ÁLLAMI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉSBEN<sup>3</sup>

*Az európai légtér túlszűfolttsága problémájának megoldása régóta foglalkoztatja az uniós és az állami szintű döntéshozó szervezeteket. Az egységes európai égbolt megvalósítását célzó jogalkotási folyamat részeként a polgári légiforgalmi irányítás szakszolgálati engedélyrendszere is szabályozásra került. Tanulmányunkban a katonai légiforgalmi irányítók szakszolgálati engedélyrendszerére vonatkozó európai uniós és hazai (állami célú légiközlekedésre vonatkozó) jogszabályokat vetjük össze, és villantjuk fel a legfontosabb különbségeket.*

### **COMPARISON OF THE AIR TRAFFIC CONTROLLER LICENSING METHODS IN THE EU AND IN THE NATIONAL REGULATION AT STATE-PURPOSE AIR TRAFFIC**

*The problem of the overcrowded European airspace is a long time scheduled issue among EU and state level decision-making bodies. As a part of the Single European Sky related legislation, the civil Air Traffic Controller licensing has been regulated as well. In the following study we intend to compare the EU and the national legal regulation of the military ATM licensing method, and we introduce the most crucial differences.*

*„A valóban egységes égbolt megvalósítása döntő szakaszába lépett. Be kell indítanunk azt a konkrét mechanizmust, amellyel az Egységes Európai Égbolt csomag időben végrehajtható lesz. Tartanunk kell magunkat azokhoz a nagyratörő célokhoz, amelyeket az európai intézmények határoztak meg számunkra, amikor megalkották a légiforgalmi szolgáltatás hosszú távon való fenntarthatóságának jogi keretét.”*

*/Siim Kallas, az Európai Bizottság alelnöke, közlekedésért felelős biztos/*

## BEVEZETÉS

Az Európai Unió (a továbbiakban: EU) az elmúlt évtizedben különösen jelentős lépéseket tett a légiközlekedés szabályozása, harmonizálása és korszerűsítése érdekében. A légiközlekedési iparágban bekövetkezett technológiai robbanásnak köszönhetően lehetetlenné vált a repülési szabályok nemzeti korlátok közé szorítása. Ennek ellenére azonban a tagállamok minden esetben törekednek nemzeti hagyományaik és módszereiket - amelyek esetenként igen különbözőek – megőrizni.

Az EU légiközlekedési ágazatának gazdasági húzóereje, a növekvő igények és a forgalmi mutatók, valamint a repülés negatív hatásainak megállítása elleni küzdelem egyre sürgetőbb megoldási alternatívák kidolgozását tette szükségessé, mely okán az EU döntő szerepet vállalt a légiforgalom-szervezési rendszer szabályozásának kialakításában.

1 őrnagy, HM Tervezési és Koordinációs Főosztály, toth.alexandra@hm.gov.hu

2 mk. őrnagy, HM Tervezési és Koordinációs Főosztály, somosi.vilmos@hm.gov.hu

3 Lektorálta: Sipos Zoltán ezredes, légügyi osztályvezető, Honvédelmi Minisztérium Tervezési és Koordinációs Főosztály

Siiim Kallas úr, az Európai Bizottság alelnöke a 2011. évi magyar-eu elnökség keretében Budapesten megrendezett szakmai konferencián idézett szavai is rámutattak arra, hogy az Egységes Európai Égbolt megvalósításához a jogi keretek megteremtése elengedhetetlenül szükséges. Az Egységes Európai Égbolt<sup>4</sup> (a továbbiakban: SES) egy olyan intézkedéscsomag, amely a kapacitásra és a légiközlekedés biztonságára vonatkozó jövőbeli szükségleteket hivatott biztosítani. Magában foglalja a repülés szabályozási, gazdasági, biztonsági, környezeti, technológiai és intézményi vonatkozásait. Célja, hogy véget vessen a légiforgalmi szolgáltatások szervezését az 1960-as évek óta változatlan formában meghatározó gyakorlatnak, amely egyik fő oka a légiforgalom napjainkban tapasztalható torlódásának.



1. ábra<sup>5</sup> A világ légiközlekedési útvonalhálózata

Fontos azonban megemlíteni, hogy az uniós szabályozás hatálya a katonai műveletekre és kiképzésekre nem terjed ki, a tagállamok viszont egy általános nyilatkozatot fogadtak el az egységes európai légtérrel kapcsolatos katonai kérdésekről<sup>6</sup>. A nyilatkozat értelmében a tagállamoknak szorosabbra kell fűzniük a polgári-katonai együttműködést, és amennyiben a tagállamok szükségesnek ítélik, a légiforgalmi szolgáltatás vonatkozásában elő kell segíteniük a fegyveres erők közötti együttműködést is.

A SES 2004. évben elfogadott jogszabály csomagja (SES-I.) szükséges, azonban nem elegendő jogi keretet biztosított a fenti célok elérése érdekében. A folyamatos fejlődés érdekében a Tanács és az Európai Parlament 2009 novemberében elfogadta a Bizottság által 2008 júniusában javasolt II. jogszabály csomagot, amelynek célja a SES megteremtésének 2012. évtől történő felgyorsítása volt. Ez a csomag a következő öt pillérre épül:

- teljesítmény;
- biztonság;
- technológia;
- repülőterek;
- emberi tényező.

<sup>4</sup> Single European Sky

<sup>5</sup> <http://www.crudeoilpeak.com/?p=1372> (2012. 03. 27.)

<sup>6</sup> A tagállamok állásfoglalása az egységes európai égbolttal kapcsolatos katonai kérdésekről (HL L 96., 2004.3.31.,9. o.)



Az emberi tényező pillér keretében lépett hatályba a légiforgalmi irányító szakszolgálati engedélyekre és egyes tanúsításokra vonatkozó részletes szabályoknak a 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet értelmében történő meghatározásáról szóló 2011. augusztus 10-i 805/2011/EU rendelet.

## A LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÓ ÁLLOMÁNY SZAKSZOLGÁLATI ENGEDÉLYRENDSZERÉNEK JOGI HÁTTERE

A 2000. évben indult SES kezdeményezés alapján elfogadott jogforrások a légiforgalmi szolgáltatást uniós hatáskörbe utalták. Az I. jogszabály csomag a következő jogforrásokat tartalmazta:

- Az Európai Parlament és a Tanács 549/2004/EK rendelete (2004. március 10.) az egységes európai égbolt létrehozására vonatkozó keret megállapításáról („keretrendelet”);
- Az Európai Parlament és a Tanács 550/2004/EK rendelete (2004. március 10.) a léginavigációs szolgálatoknak az egységes európai égbolt keretében történő ellátásáról („léginavigációs-szolgálati rendelet”);
- Az Európai Parlament és a Tanács 551/2004/EK rendelete (2004. március 10.) a légtérnek az egységes európai égbolt keretében történő szervezéséről és használatáról (légtérrendelet);
- Az Európai Parlament és a Tanács 552/2004/EK rendelete (2004. március 10.) az Európai Légiforgalmi Szolgáltatási Hálózat átjárhatóságáról (átjárhatósági rendelet).

A fenti SES-I. egy három pilléren alapuló szabályozási rendszer, melynek legalsó szintjét a Bizottság által elfogadott végrehajtási szabályok képezik. Második szintjén a léginavigációs-szolgáltatási, a légtér-, valamint átjárhatósági rendelet helyezkedik el, mindennek csúcán pedig az ún. keretrendelet áll.

Ezen rendszer célja különösen a légiközlekedés biztonságát szolgáló előírások megerősítése, a légiközlekedési rendszer fenntartható fejlődéséhez történő hozzájárulás, valamint a légiforgalmi és léginavigációs szolgálatok hatékonyságának növelése.

A SES-I által kijelölt irányelvek mentén megszületett SES-II jogszabálycsomag elsődlegesen a legnagyobb teljesítménybeli javulást eredményezi, különös tekintettel a már meglévő hálózati funkciókkal, a 2012. év elején induló teljesítmény rendszerrel, a 2012. év végén életbe lépő funkcionális légtérblokkokkal<sup>7</sup>, illetve a 2014. évben induló, a SES technológiai elemét képező, az európai légiforgalmi szolgáltatás korszerűsítésére irányuló programmal<sup>8</sup>.

A SES-II. keretében a légiforgalmi irányítói szakszolgálati engedélyezés és az egyes tanúsítások részletes szabályai is kidolgozásra kerültek, mely alapját képezi a nemzeti szabályozásnak.

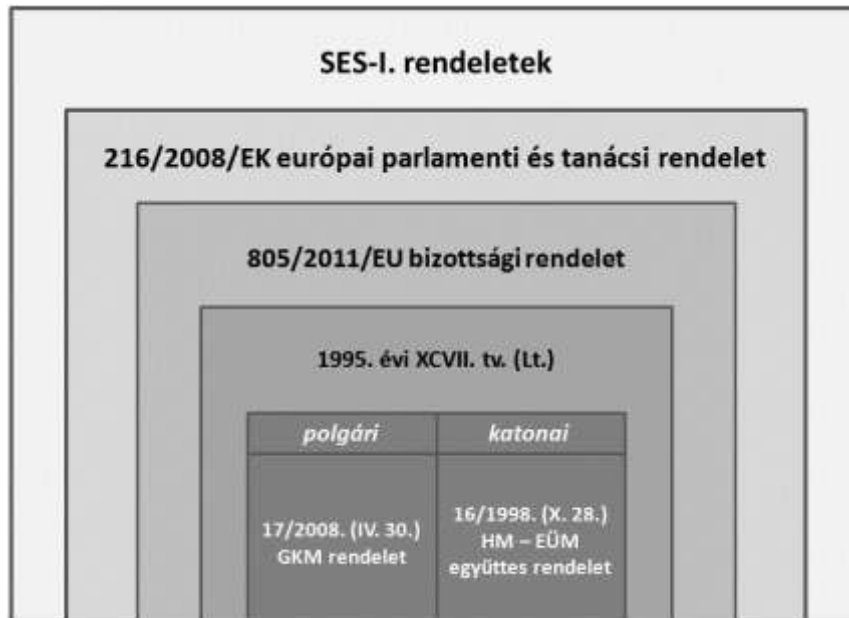
Hazánk vonatkozásában e kérdéskört törvényi szinten a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (a továbbiakban: Lt.) 53. §-a, valamint az Lt. felhatalmazása alapján kibocsátott a polgári célú légiközlekedés vonatkozásában a léginavigációs szolgálatot és légiforgalmi szolgáltatást ellátó szakszemélyzet szakszolgálati engedélyéről és képzéséről szóló 17/2008.

<sup>7</sup> functional airspace block (FAB)

<sup>8</sup> Az európai légiforgalmi szolgáltatás korszerűsítésére irányuló program, mely a SES technológiai eleme.

(IV. 30.) GKM rendelet, a honvédelmi célú légitörlekedés tekintetében az állami célú légitörlekedés szak személyzetének szak szolgálati engedélyeiről szóló 16/1998. (X. 28.) HM rendelet (a továbbiakban: rendelet) szabályozza.

A fenti körülmények figyelembevételével a légiforgalmi irányító állomány szak szolgálati engedélyezési rendszerének jogszabályi környezetét – a jogforrási hierarchia figyelmen kívül hagyása mellett - az alábbi ábra szemlélteti:



2. ábra Jogszabályi környezet

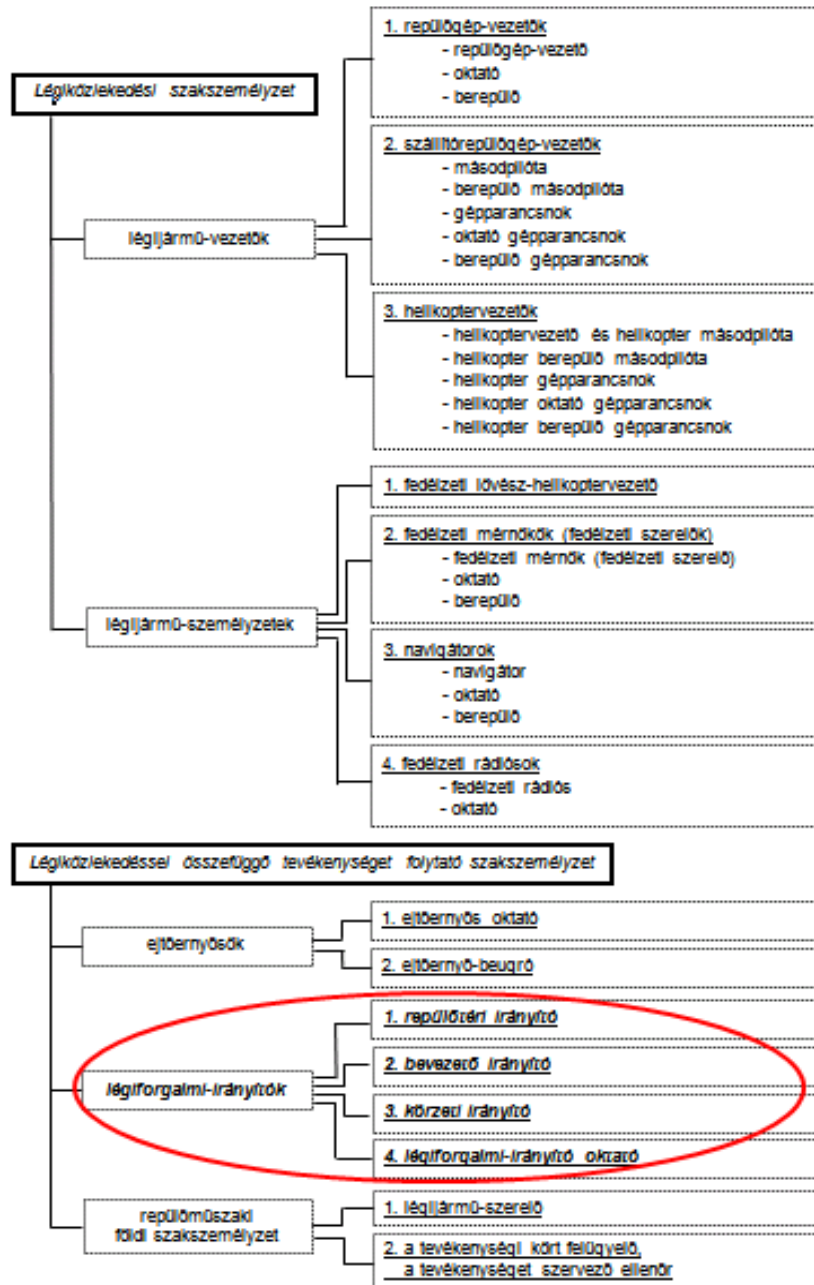
A tanulmány tárgykörére, illetve területi korlátaira tekintettel azonban a dolgozatban kizárólag a katonai légiforgalmi irányító állomány szak szolgálati engedélyezésének rendszerét kívánjuk röviden bemutatni.

## A HATÁLYOS MAGYAR SZABÁLYOZÁS

A polgári célú légitörlekedés területén az egyes szakterületek (légiforgalmi, repülőhajózó, repülőműszaki) külön jogszabályban vannak megjelenítve<sup>9</sup>, míg az állami célú légitörlekedésben a légitörlekedési és a légitörlekedéssel összefüggő tevékenységet folytató szak személyzet szak szolgálati engedélyezésével kapcsolatos szabályok egy rendeletben szabályozottak. Kiemelendő, hogy a légvédelmi irányítás – annak ellenére, hogy a légiforgalmi irányítás szabályait is alkalmazza – nem szak szolgálati engedélyköteles tevékenység.

A rendelet a légitörlekedési és a légitörlekedéssel összefüggő tevékenységet folytató szak személyzetet a következők alapján sorolja be:

<sup>9</sup> SESAR (Single European Sky ATM Research) program



3. ábra A légiközlekedési és a légiközlekedéssel összefüggő tevékenységet folytató szakszemélyzetek

A katonai légiforgalmi irányítók vonatkozásában a rendelet XV. fejezete tartalmazza a szak-  
szolgálati engedély megszerzésével, meghosszabbításával összefüggő általános és speciális  
szabályokat. Az egészségügyi alkalmasságra vonatkozó előírásokat külön jogszabály, nevezetesen az állami célú légiközlekedésben folytatott szak-  
szolgálati tevékenység repülőegészségi feltételeiről szóló 22/2005. (VI. 14.) HM-EüM együttes rendelet tartalmazza.

A rendelet három légiforgalmi irányítói tevékenység vonatkozásában teszi lehetővé a szak-  
szolgálati engedélyek kibocsátását, ezek a következők:

- repülőterri irányító;
- bevezető irányító;
- körzeti irányító.

Miután az engedélyes rendelkezik a fenti szakszolgálati engedély valamelyikével, úgy lehetősége nyílik az oktató szakszolgálati engedély megszerzésére. Ez a tagozódás azonban nem azonos a légiforgalmi irányító központok szakszolgálati tevékenység ellátását biztosító munkaköreivel<sup>10</sup>.

Az elmúlt évek tapasztalatai, valamint az uniós szabályozás rávilágított arra, hogy a jelenlegi rendszer részleteiben nem szabályozza a nyelvi követelményeket, a honosítási eljárás során alkalmazandó szabályokat. Annak ellenére, hogy az elmúlt 10 évben a katonai légiforgalmi irányítók számos külföldi misszióban teljesítettek légiforgalmi szakszolgálati tevékenységet, a jelenlegi rendszer nem teszi lehetővé a nemzetközi környezetben megszerzett gyakorlati jártasság elfogadását.

Annak ellenére, hogy a katonai légiforgalmi irányítói tevékenység a rugalmas légtérfelhasználás keretében túlnyomó részt a polgári légiközlekedési és repülésirányítási szabályokon alapul, továbbra sem biztosított a katonai szakszolgálati engedélyek nemzetközi szintű elfogadása, a polgári engedélyekkel való kompatibilitása.

A hatályos szabályozás hátránya, hogy a jelöltet nem kötelezi az engedélyek időbeni megszerzésére, így legrosszabb esetben több mint egy évig az állomány szakszolgálati tevékenységet engedély hiányában kizárólag oktató felügyelete mellett láthat el.

További negatív tapasztalat, hogy a hatósági vizsgára történő felkészüléshez nincs – a gépjárművezetői vizsga letételét segítő vizsgakérdésekhez hasonlóan – közzétett, folyamatosan aktualizált kérdéssor.

## AZ UNIÓS SZABÁLYOZÁS

A SES keretében nyújtott légiforgalom-szervezés<sup>11</sup> ellátása indokoltá tette a légiforgalmi irányítókra vonatkozó teljesebb körű, uniós szabályozás kialakítását. Az Európai Bizottság európai polgári repülésbiztonság magas szintjének biztosítása, a szakmai alkalmasság legmagasabb szintjének elérése, és a nemzetek közötti polgári szakszolgálati engedélyek közötti átjárhatóság megteremtése érdekében 2011 nyarán elfogadta a 805/2011/EU rendeletet (a továbbiakban: EU rendelet), mely a légiforgalmi irányítás esetében egy közös engedélyezési rendszer alapjait fektette le.

Az EU rendelet részletes szakmai követelményeket határoz meg a légiforgalmi irányítók és gyakoronokok szakszolgálati engedélyei, a kapcsolódó jogosítások és kiterjesztések, a képzési szervezetek tanúsításai, illetve az orvosi minősítések vonatkozásában. Habár az uniós szabályok hatálya általában az állami célú légiközlekedésre nem terjed ki, a 216/2008/EK rendelet előírásaival összhangban hazánknak is lehetőség szerint „át kell vennie” ezen előírásokat.

Az EU rendeletben foglaltak alapján – a rendeletben előírt feltételek teljesítése esetén – gyakoronok légiforgalmi irányító, illetve légiforgalmi irányító szakszolgálati engedély bocsátható ki a kérelmező részére.

<sup>10</sup> Gurulásirányító, bevezető irányító, közelkörzeti irányító, stb.

<sup>11</sup> Légiforgalom szervezés alatt a légtérgazdálkodást, a légiforgalmi szolgáltatást és a légiforgalom-áramlásszervezést kell érteni.

A hatályos rendeletünkben foglaltakkal ellentétben az uniós szabályozás az alábbi jogosításokat és jogosítás-kiterjesztéseket vezeti be:

Jogosítások:

- repülőtéri irányítás látással (ADV);
- repülőtéri irányítás műszerrel (ADI);
- bevezető irányítás eljárás (APP);
- bevezető irányítás légtérelenőrző berendezéssel (APS);
- körzeti irányítás eljárás (ACP);
- körzeti irányítás légtérelenőrző berendezéssel (ACS);

A „repülőtéri irányítás műszerrel” jogosításnak (ADI) kötelezően tartalmaznia kell az alábbi kiterjesztések legalább egyikét:

- toronyirányítás (TWR);
- gurítóirányítás (GMC);
- földi mozgások irányítása felderítő berendezéssel (GMS);
- repülőtéri körzeti irányítás (AIR);
- repülőtéri radarirányítás (RAD).

A „bevezető irányítás légtérelenőrző berendezéssel” jogosításnak (APS) kötelezően tartalmaznia kell az alábbi kiterjesztések legalább egyikét:

- radarirányítás (RAD);
- precíziós bevezető irányítás radarberendezéssel (PAR);
- bevezető irányítás légtérelenőrző radarberendezéssel (SRA);
- automatikus berendezésfüggő légtérelenőrzés (ADS);
- közelkörzeti irányítás (TCL).

A „körzeti irányítás légtérelenőrző berendezéssel” jogosításnak (ACS) kötelezően tartalmaznia kell az alábbi kiterjesztések legalább egyikét:

- radarirányítás (RAD);
- automatikus berendezésfüggő légtérelenőrzés (ADS);
- közelkörzeti irányítás (TCL);
- óceáni irányítás (OCL).

Az EU rendelet bevezeti továbbá a munkahelyi kiterjesztést, mely meghatározza, hogy az engedélyes mely légiforgalmi irányítói egység felügyelete alatt működő szektorban, szektorcsoportban vagy munkahelyen végezhet szakszolgálati tevékenységet.

Angol nyelvi kiterjesztés hiányában a légiforgalmi irányítók és a gyakornok légiforgalmi irányítók a szakszolgálati engedélyükben foglalt jogosultságaikat nem gyakorolhatják. Természetesen a tagállamok a repülés biztonsága érdekében helyi szintű nyelvi követelményeket írhatnak elő.

A magyar szabályozáshoz hasonlóan lehetőség van oktatói kiterjesztés megszerzésére, mely esetén az engedélyes gyakorlati oktatói és felügyeleti feladatokat láthat el a munkahelyi kiterjesztésének megfelelően.

A fenti rendszer személtetésére szolgál az alábbi példa:

Repülőtéri irányítás műszerrel (ADI) toronyirányítás kiterjesztéssel (TWR) Kecskemét repülőtéren, angol nyelvi kiterjesztéssel, oktatói munkakörben.

Az EU rendelet szabályozza továbbá az orvosi minősítés feltételeit, a képzési szervezetekre, valamint a légiközlekedési hatóságra vonatkozó követelményeket, melyet jelen tanulmányunkban nem részletezünk.

## AZ EURÓPAI UNIÓS ÉS A HAZAI KATONAI LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÓI SZAKSZOLGÁLATI ENGEDÉLYEZÉSI SZABÁLYOZÁS ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A katonai légiforgalmi irányítókra vonatkozó magyar szabályozás módosítása – az elmúlt években jelentkező szakmai igények és egyes kérdések szabályozatlansága miatt – már jóval az EU rendelet kidolgozását és hatálybalépését megelőzően megkezdődött. Sajnálatos módon a szakmai egyeztetések elhúzódása miatt, a tervezet – annak ellenére, hogy a felmerült hiányosságokat orvosolja és a szakmai igényeket kielégíti – nem feleltethető meg teljesen az uniós előírásoknak. Tekintettel arra, hogy a rendelet tervezet kihirdetése várhatóan a közeljövőben esedékes, tanulmányunkban már ezen tervezet rövid bemutatásával világítunk rá az uniós szabályozástól való eltérésre.

A tervezet külön fejezetben szabályozza a katonai léginavigációs szolgálatok szakszemélyzetének szakszolgálati engedélyeire vonatkozó speciális szabályokat.

A tervezetben foglaltak alapján a légiközlekedési szakszemélyzet között kerül külön megjelölésre a léginavigációs szakszemélyzet, mely kategóriában – a légi jármű-vezetők, szakszemélyzet tagok, ejtőernyősök, stb. mellett – kapnak helyet a katonai légiforgalmi irányítók az alábbiak szerint:

„f) léginavigációs szakszemélyzet:

fa) légiforgalmi irányítók:

faa) gyakornok légiforgalmi irányító,

fab) légiforgalmi irányító,

fb) légiforgalmi tájékoztatók,

fc) repülésmeteorológusok:

fca) gyakornok repülésmeteorológus,

fcb) repülésmeteorológus;”

Új struktúra szerint kerültek felosztásra a légiforgalmi irányítók jogosításai és kiterjesztései:

a) gyakornok légiforgalmi irányító szakszolgálati engedély

aa) jogosítás: megegyezik a légiforgalmi irányító szakszolgálati engedély jogosításaival,

b) légiforgalmi irányító szakszolgálati engedély,

ba) jogosítások: gurító irányítás, repülőtéri repülésirányítás, repülőtéri irányítás, precíziós bevezető irányítás, nem precíziós bevezető irányítás, közelkörzeti irányítás, körzeti irányítás;

bb) kiterjesztés: légiforgalmi irányító oktató.

Az uniós szabályozásban szereplő felosztással ellentétben a fenti kategóriák általánosabban kerülnek meghatározásra, mely szerint az adott szakszolgálati tevékenységi körben mind a látás/műszer szerinti irányítás, illetve mind az eljárás/ légtérellelőrző berendezéssel (radarral) történő irányítás végrehajtható.

Természetesen egyes uniós kiterjesztések a hazai rendszerben értelmezhetetlenek, ilyen például az óceáni kiterjesztés vagy az automatikus berendezésfüggő légtérellelőrzés.

Jelentős különbség a hatályos szabályozással ellentétben, hogy a szakszolgálati engedély megszerzéséhez előírt óraszámok csökkentésre kerülnek.

Az uniós szabályozásnak megfelelően nemzeti szinten rögzítjük a légiforgalmi irányító szakszolgálati tevékenység ellátásához szükséges nyelvi követelményeket. A közeljövőben a szakszemélyzetnek angol nyelvből ICAO 4-es szintű nyelvismereti követelményeknek kell megfelelnie és nyelvismereti vizsgát kell tennie. A nyelvismereti vizsgán elért eredmény alapján az elsőfokú katonai légügyi hatósági feladatokat ellátó Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatala kérelemre a szakszolgálati engedélybe nyelvi kiterjesztést jegyez be, amely az engedélyes nyelvismereti szintjét határozza meg.

Kiegészül a légiforgalmi szolgálat vezetőjének feladatköre az MH Összhaderőnemi Parancsnokság által meghatározott elvek alapján kidolgozott, a katonai légügyi hatóság által jóváhagyott szakkiképzési terv kötelező vezetésével, amely biztosítja a szakszemélyzet szaktudásának folyamatos fenntartását. Taxatív meghatározásra kerülnek a szakkiképzési terv tartalmi elemei. A szakkiképzési terv gyakorlatilag megfeleltethető az EU rendelet szerinti munkahelyi képzési tervvel.

Az új szabályozás szerint változnak a szakszolgálati engedély meghosszabbítására, valamint a jártasság fenntartásának szabályai is. Míg a jelenlegi rendszerben a katonai légiforgalmi irányító szakszolgálati engedély meghosszabbításának feltétele az elméleti és gyakorlati hatósági vizsga letétele, addig az új szabályok alapján a légiforgalmi irányítók gyakorlati jártasságát a repülőterek légiforgalmi szolgálatainak oktatói állománya évente kétszer, a szakismereti jártasságot évente 4 alkalommal, elméleti tesztek útján fogja ellenőrizni.

Az uniós szabályokkal összhangban 1 év az engedély időbeli hatályának meghosszabbításához szükséges vizsgált időszak, mellyel összefüggésben az állományilletékes parancsnoknak kell igazolnia, hogy az engedélyes teljesítette az előírt óraszámokat (bevezető irányítóknál bevezetési darabszámokat), illetve az egy év során 180 napnál hosszabb folyamatos munkamegszakítása nem volt.

Az elmúlt évtizedben bekövetkezett változások eredményeként egyértelművé vált, hogy a hatályos szakszolgálati engedélyekről szóló tárcarendelet elavult rendelkezéseket tartalmaz, az abban meghatározott szakmai követelmények és eljárások a gyakorlati életben már nehezen alkalmazhatók. A jogszabály mihamarabbi felváltásának szükségessége vitathatatlan, ugyanúgy, mint a SES irányelveinek, az uniós elvárásoknak való megfelelés.

Az uniós jogharmonizáció megteremtése érdekében a tervezet és az EU rendelet fogalomrendszerének összevetése, a terminológiák átvezetése szükséges, mely remélhetőleg nem befolyásolja a tervezet mihamarabbi hatálybalépését.

Az új tárcarendelet hatálybaléptetése egy további fontos mérföldkövet jelenthet a polgári-katonai ATM<sup>12</sup> együttműködés területén, mely lehetővé teszi a SES nemzeti szintű, eredményes megvalósulását. A hatékonyabb polgári-katonai együttműködéssel csökkenthető az európai légiközlekedésben tapasztalható széttagoltság, és növelhető a regionális ATM együttműködés.

A közös alapokon nyugvó szakszolgálati engedélyezési szabályozás távlatokat nyithat a légiforgalmi irányítók közös képzéséhez, és a jelenleg működő integrált (polgári-katonai) nemzeti légiforgalmi szolgáltatás képességeinek bővítéséhez, illetve kiszélesítéséhez.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] DR. ANGYAL ZOLTÁN: Légiközlekedési jog az európai unióban. HVGorac Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2011.
- [2] A légiforgalmi irányító szakszolgálati engedélyekre és egyes tanúsításokra vonatkozó részletes szabályoknak a 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet értelmében történő meghatározásáról szóló 2011. augusztus 10-i 805/2011/EU rendelet
- [3] A légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény
- [4] Az állami célú légiközlekedés szakszemélyzetének szakszolgálati engedélyeiről szóló 16/1998. (X. 28.) HM-EüM együttes rendelet
- [5] A polgári célú légiközlekedés vonatkozásában a léginavigációs szolgálatot és légiforgalmi szolgáltatást ellátó szakszemélyzet szakszolgálati engedélyéről és képzéséről szóló 17/2008. (IV. 30.) GKM rendelet

---

<sup>12</sup> Air Traffic Management – Légiforgalom szervezés





Dr. Kohut László<sup>1</sup>

## A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS EGÉSZSÉGÜGYI VONATKOZÁSAI<sup>2</sup>

*A globális éghajlatváltozás az egészség és a jólét alapját jelentő létfenntartó rendszereket is felbomlással fenyegeti. Az éghajlatváltozás közvetett és közvetlen következményekkel jár majd az emberi egészségre nézve. A közvetlen hatások csoportjába a hőséggel és a hideggel összefüggő fizikai hatások, valamint a szélsőséges időjárás okozta halálozások és sérülések tartoznak. A közvetett hatások csoportjába tartoznak a vektorok által terjesztett betegségek gyakoribbá válása, az élelmiszerhiány okozta éhínség, a vízhiány, az a légszennyezés, az aeroallergének koncentrációjának az emelkedése, valamint az árvizek, áradások és egyéb természeti csapások következtében megjelenő környezeti menekültekkel kapcsolatos problémák.*

*E hatások nagyságrendje attól függ, hogy az egészségügyi rendszerek mennyire képesek alkalmazkodni a helyzethez, és milyen lépéseket tesznek meg ennek érdekében, valamint attól, hogy a különböző népességcsoportok milyen alapvető hozzáféréssel rendelkeznek majd az egészségügyi szolgáltatásokhoz.*

### **THE EFFECTS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON HUMAN HEALTH**

*Through its effects on natural and human environments, climate change will likely impact economy and human health and well-being. Climate change is a global phenomenon which have direct and indirect effects on human health, causing damages. Among the direct effects are changing temperatures that cause heat waves that can increase morbidity and mortality; extreme weather events, which cause an increasing number of casualties. The indirect effects of climate change on human health include droughts and floods affecting agriculture and leading to malnutrition; scarcity of clean water, which impairs hygienic conditions; the spread of vector-borne infectious diseases; and migration due to changing environments, which makes humans vulnerable to diseases.*

*We need more scientific research in order to understand human adaptation. To stop global warming we need international cooperation in bringing together governments, international agencies, non-governmental organizations, communities, and academics.*

## BEVEZETÉS

A globális éghajlatváltozásnak számos fontos hatása van közvetlenül az emberi egészségre, valamint közvetve, a jólét alapját jelentő létfontosságú rendszerek felbomlásán keresztül. A Meteorológiai Világszervezet és az ENSZ Környezeti Programja (UNRP) 1998-ban hozta létre az Éghajlat-változási Kormányközi Testületet (IPCC) azzal a céllal, hogy több száz szakértő munkáját összesítse és az éghajlatváltozással kapcsolatos eredményeket közzé tegye. Az IPCC munkacsoportjai elemzik az éghajlatváltozással összefüggő megfigyelési adatokat és foglalkoznak a várható változások becslésével. [15] A Negyedik Értékelő Jelentésben 2007-ben a következő megállapítások szerepeltek:

- a levegő földközeli átlaghőmérséklete 1905 és 2005 között  $0,74 \pm 0,18$  °C-kal nőtt meg;
- a szén-dioxid, ami a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével kerül a légkörbe, a legfonto-

<sup>1</sup> PhD orvos ezredes, intézetvezető, MH Honvédkórház BKRI Balatonfüred, laszlo.kohut@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Szabó Sándor András o. alezredes, Ph.D., MH Honvédkórház, Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Kutató Intézet, Kecskeföld, sasi19620@gmail.com

sabb üvegházhatást keltő gáz, amely hozzájárul az „éghajlatváltozás antropogén elősegítéséhez”;

- a mezőgazdasági és ipari eljárások következtében kibocsátott gázok és vegyületek, mint például a metán, a nitrogén-oxid, a kén-hexafluorid, a fluorozott szénhidrogének és a perfluorozott szénhidrogének is fokozzák az üvegházhatást. [18][23]

Az IPCC utolsó jelentése megjegyzi, hogy „a megfigyelések egyre növekvő tömege összképet ad egy felmelegedő világról és az éghajlati rendszer további változásairól”, mint például a hótakaró általános csökkenéséről, a sarki jégsapkák visszahúzódásáról, a gleccserek kiterjedésének a csökkenéséről, a folyók és tavak későbbi befagyásáról és korábbi olvadásáról, aszályokról, felhőszakadást követő áradásokról, a növények és az állatok elterjedési területének az eltolódásáról, a világóceánok átlaghőmérsékletének emelkedéséről legalább 3000 m mélyséig, és a tengerszint teljes XX. századi 15-22 centiméteres emelkedéséről. [18]

### **A globális felmelegedés és az antroposzféra**

Az északi féltekén végzett mérések alapján az átlagos felületi hőmérséklet többet emelkedett a huszadik század folyamán, mint az elmúlt ezer év bármelyik más századában. [9]

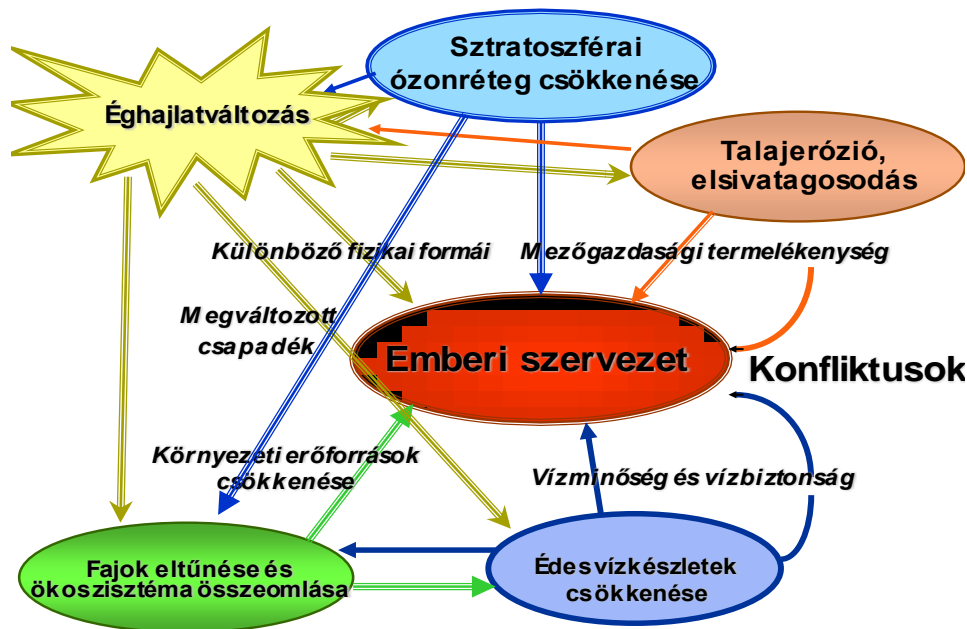
Bolygónk globális hőmérsékletének emelkedése követte az üvegházhatást keltő gázok koncentrációjának és kibocsátásának rekord értékét. Az elmúlt 150 év alatt a légköri szén-dioxid -koncentráció 31%-kal emelkedett (ebből 15%-kal az elmúlt 50 évben), a metáné 151%-kal nőtt, aminek közel a háromnegyede a fosszilis energiahordozók elégetésének tulajdonítható, a maradék pedig az erdőirtásnak és a földhasználat más változásainak. 2000-ben a globális széndioxid kibocsátást 7000 millió tonnára becsülték. E bizonyíték alapján az IPCC arra a következtetésre jutott, hogy míg a természetes tényezők (napfoltok, vulkánkitörések) kismértékben járultak hozzá az elmúlt évszázad felmelegedéséhez, addig „új és erősebb bizonyíték van rá, hogy a legutóbbi 50 év során tapasztalt felmelegedés legnagyobb része az emberi tevékenység következménye”. [16]

2005-ben a Katasztrófák Előfordulását Kutató Központ (CRED) világszerte 430 természeti katasztrófát jegyzett fel, amely 89713 ember halálát okozta, és ezen kívül 162 millió embert érintett. Összehasonlításképpen: a CRED az 1980-as években átlagosan évente 173 katasztrófáról számolt be. Az elmúlt 25 év alatt a természeti katasztrófák által érintett emberek 98%-a abban a 112 országban élt, amelyet a Világbank kis vagy kis-közepes jövedelműnek minősített. Ezekben az országokban él a világ népességének a 75%-a és a világ városi lakosságának a 62%-a. [9]

A globális felmelegedésben többféle konfliktus kialakulásának veszélye rejlik: egyrészt a természeti erőforrások birtoklása miatt alakulhatnak ki lokális összetűzések (ivóvíz, termőföld, lakható területek), másrészt a természeti erőforrások hiánya miatt menekültáradat (ún. ökológiai és gazdasági menekültek) jelenhet meg, mely politikai, illetve gazdasági problémákat jelent a célország számára. Ezen helyzetek kezelésére mind lokálisan, mind globálisan komoly erőforrásokat szükséges biztosítani. A politikai, diplomáciai és gazdasági eszközök mellett szóba jöhet a katonai jelenlét szükségessége is, akár békefenntartóként, akár harcászati tevékenység formájában. Amikor regionális vagy távoli feladatok elvégzésére kerül sor, figyelembe kell venni a környezeti körülmények megváltozását, mely a katonák igénybevételét jelentősen megnöveli. [24]

A globális éghajlatváltozás egészségkárosító hatásai többféleképpen következnek be: az időjárási

szélsőségek fizikai hatásán keresztül, a növekvő vízhiány okozta elsivatagosodás miatt, a tengerszint emelkedése okozta áradások következtében, valamint az olvadó gleccserek csökkenő folyóvízhozama miatt, a csökkenő biodiverzitás az állat- és növényfajok csökkenésén keresztül, a járványok terjedése, gazdasági károk anyagi források csökkenése révén, valamint a környezeti menekültek tömeges megjelenése együttes kockázatnövelő hatással rendelkeznek (1. ábra).



1. ábra Az éghajlatváltozás egészségkárosító hatásainak egyesített modellje [27]

A kérdés aktualitását az adja, hogy az elmúlt években megemelkedett azon személyek száma, akik eredetileg mérsékelt égövön születtek és éltek, de sivatagi éghajlati körülmények között teljesítenek szolgálatot. Ennek következtében figyelmünk a meleg és forró éghajlaton való terhelhetőség fiziológiája felé fordult, főleg mióta a magyar katonaság is aktívan részt vesz az ENSZ békefenntartó tevékenységében és a NATO katonai kötelékében a Közel-Keleten.

## A FELMELEGEDÉS EGÉSZSÉ GKÁROSÍTÓ HATÁSA

A globális éghajlatváltozás egészségkárosító hatása mind közvetlen mind közvetett úton valósul meg. A közvetlen, azonnali hatások olyan direkt hatások, melyeket a szélsőséges időjárási események fizikai tényezője okoz. A közvetett, azaz indirekt hatások közvetetten betegítenek meg. Kialakulásukra vagy középtávon, vagy hosszútávon kell számítani. Az éghajlatváltozás következtében jelentkező környezeti változások hatására növekszik a légszennyeződés, terjednek a fertőző kórokozók, emelkedik az allergének koncentrációja, növekszik UV sugárzás, súlyosbodik az élelmiszerhiány, fokozódik a vízhiány, a negatív gazdasági hatások miatt működési zavar alakulhat ki az egészségügyi ellátó rendszerbe.

## A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖZVETLEN HATÁSAI

A közvetlen hatások egyik legjellemzőbb példája a hőhullám okozta egészségkárosodás. A Svájci Meteorológiai és Klimatológiai Szövetségi Hivatal szerint 1880 óta Nyugat- Európában a hőhullámok időtartama a kétszeresére nőtt, a szokatlanul forró napok száma pedig a háromszorosára. Az elmúlt tizenkét évből (1995-2006) tizenegy a legmelegebb 12 év közé tartozik 1850 óta a globális felszínhőmérséklet műszeres megfigyelése alapján. Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának becslése szerint az Európát 2003-ban sújtó hőhullám miatt a klímaváltozás költségei csak abban az évben 60 milliárd dollárjába kerültek a világnak - 10%-kal többre, mint az előző évben - és csak Franciaországban 15 ezer fő halálozási többletet okozott [9]. A hőséggel összefüggő morbiditás és mortalitás változása elsősorban a krónikus szív-érrendszeri, valamint légzőszervi betegségekben szenvedőket érinti. A fokozott izzadás, elégtelen folyadék-, és ionpótlás miatt bekövetkezett hemoreológiai változások fokozzák a thrombozishajlamot mind a koszorúerekben, mind az agy ereiben. Több vizsgálat igazolta az elhízottak, a vesebetegek, valamint az anyagcsere-betegségben szenvedők nagyobb mortalitását hőhullám esetén. [2]

Az idősek, valamint a gyerekek testhőmérséklet-szabályozó rendszere gyengébb, és emiatt fokozottan érzékenyek a hőmérséklet emelkedésére [22]. A halálozási arány jóval drasztikusabb növekedése várható azokon a területeken, ahol a hőmérséklet emelkedése magasabb lesz, valamint nagyobb a lakosság sűrűsége, elsősorban a nagy városok, metropoliszok szegénynegyedeiben.

A napi átlagos 18 °C az ideális hőmérséklet, ennél az átlaghőmérsékletnél hálnak meg legkevésbé. E fölött jelentősen nő a halálozás kockázata. A napi átlaghőmérséklet 5 °C-os növekedése szignifikánsan, 6%-kal növeli az összes halálozás kockázatát, a legnagyobb mértékben, mintegy 10%-al növekszik a szív-érrendszeri betegségek miatti halálozás kockázata. Hasonlóan jelentős a hőmérséklet változékonyságának a hatása is, mintegy 6%-kal növeli az összhálaózás és a szív- és érrendszeri halálozás kockázatát. [30]

A hőmérsékletváltozás másik direkt egészségkárosító tényezője az alacsony hőmérséklet. Vizsgálatok összefüggést találtak a morbiditás, a hospitalizáció száma, a mortalitás, valamint az alacsony hőmérséklet, a lakhatási körülmények és a társadalmi- gazdasági helyzet között. [4]

## A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖZVETETT HATÁSAI

### Az infekciók

A globális klímaváltozás közvetett egészségügyi hatásának fő képviselője a fertőző betegségek elterjedése. Külön kell szólni az élelmiszerek útján terjedő betegségekről, a vízzel kapcsolatos problémákról, valamint a vektorok által terjesztett betegségek megjelenéséről és elterjedéséről. A Nemzetközi Vadvédelmi Szervezet közzétett új jelentésében tizenkét olyan kórokozót jelölt meg, amelyek a klímaváltozás hatására a jövőben újabb területeket hódíthatnak meg, egyaránt veszélyeztetve ezzel az emberi egészséget és a vadvilág állapotát. A „halálos tizenkettőnek” nevezett kórokozók közül a globális átlaghőmérséklet-emelkedés és a csapadékeloszlás változásai miatt többféle, állatokat és embereket egyaránt fenyegető, kórokozó terjedése indulhat meg újabb területeken. Ezek közé tartozik a madárinfluenza, a kullancsok által terjesztett babeziózis

és Lyme-kór, a kolera, az ebola, a különféle külső és belső élősködők, a pestis, az algavirágzás által okozott úgynevezett „vörös áradat”, a szúnyogok által is terjesztett Rift-völgyi láz, a cece-lég által továbbadott álomkór, a tuberkulózis, valamint a sárgaláz. [6]

### **Élelmiszer útján terjedő fertőzések**

A hőmérséklet-változás érzékenyen hat az élelmiszer útján terjedő fertőzésekre, úgymint Salmonella, Campylobacter, Listeria, stb. Kutatások azt igazolták, hogy az átlag hőmérséklet egy fokos emelkedése 4,5%-kal megnöveli a Salmonella fertőzések számát. [5]

A gabonafélék aflatoxin B<sub>1</sub> szennyezettségének lehetséges növekedését eredményezheti a klímaváltozás az Európai Unió területén. A penészgombák által termelt karcinogén mikotoxin megtalálható egyes gabonaféléken, így a kukoricán, búzán, rizsen, különösen a forró és párás éghajlaton. Az élelmiszer által terjedő fertőzések jelentős megnövekedésére számítanak az Európai Unióban az elkövetkező évtizedekben, amely számottevő terhet fog róni a társadalomra. Becslések szerint a 2030-as években akár 20 ezerrel, a 2080-as években akár 30-40 ezerrel növekedhet a megbetegedések száma. [17]

### **Vektorok által terjesztett betegségek**

A következő nagy csoportot a vektorok által terjesztett fertőző betegségek képezik. Az éghajlatváltozás nagy valószínűséggel módosítja a vektorok terjesztette betegségek területi eloszlását, mivel megváltozik a vektorok földrajzi elhelyezkedése, aktív időszaka és a populáció nagysága. [10] 2000-ben Mozambikban a hat-hetes heves esőzések következtében a malária incidenciája ötszörösére emelkedett. [12] Európában a klímaváltozás hatására a malária kockázatát nem zárják ki, de előfordulása minimális a fejlett és megfelelő közegészségügyi rendszerek és a hatékony szúnyog elleni védelem miatt. Behurcolt esetekkel számolnak, főként a megnövekedett lakossági migráció következtében. Angliában 30 esetben regisztráltak ún. „reptéri maláriát”, melyet zömmel kelet Afrikából érkező utasoknál állapítottak meg. [31]

A globális felmelegedés kedvez a kullancsok elterjedésének is. Az egyre nagyobb területen megjelenő kullancsok révén nő az általuk terjesztett kórokozók miatti fertőzések kockázata. Szúrásukon át agyvelő- és agyhártyagyulladás, Lyme borreliosis, tularemia, Q-láz, ehrlichiosis, babesiosis, mediterrán foltos láz, tibola (tick-borne lymphadenopathy - kullancs szállította nyirokcsomó-bántalom) kórokozóit tartalmazó nyálat fecskendezhetnek be. [13]

2007. július-augusztusában Olaszországban, szúnyogok által terjesztett chikungunya-láz járvány alakult ki. A vírus szúnyogok közvetítésével terjed. Irodalmi adatok szerint az Aedes albopictus ma már Európa 12 országában van jelen (Spanyolország, Franciaország, Belgium, Hollandia, Svájc, Olaszország, Szlovénia, Horvátország, Bosznia-Hercegovina, Montenegró, Albánia, Görögország.). Várható, hogy a globális felmelegedéssel Európa más országában is megjelenik. [33]

### **A vízzel kapcsolatos problémák**

A vízzel kapcsolatos kérdéskör összetett. A csapadék egyenetlen eloszlása miatt számíthatunk nagy esőzésekre, melyek áradásokhoz vezetnek és a vízzel terjedő járványok kitörését eredményezhetik. A szennyvízcsatornák kiömlése nagy területekre kiterjedő vízfertőzést okoz. A vízzel terjedő fertőző betegségek között lehetnek bakteriális kórokozók: Shigellák, Salmonel-

lák, enterovirulens *E. coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter*, *Vibrio cholerae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas*, nem-cholera vibriók, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium difficile*, illetve *perfringens*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus cereus*, *Serratia*; paraziták: *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Trichinella spiralis*, bélférgék; valamint vírusok: Rotavírus, Norwalk, astro-, calici-, corona-, enteralis adenovírusok stb. [11]

A bakteriális és vírusos fertőzésekre jellemző a hasmenés kialakulása, mely egyes esetekben súlyos dehidratációhoz és életet veszélyeztető állapothoz vezet.

A főként szennyezett ivóvíz és élelmiszer fogyasztása következtében kialakuló hasmenés az ENSZ becslései szerint körülbelül 1,5 millió öt éven aluli gyermek halálát okozza, így összességében 2,6 millió ember hal meg hasmenés következtében évente. [34]

### **Áradásokkal kapcsolatos egészségügyi problémák.**

A tengerszint emelkedése miatt erősen veszélyeztetettnek számítanak a partvidéki területek, a folyók torkolatánál élők pedig az egyre gyakoribb heves esőzések miatt kialakuló áradások is sújtják.

A megnövekedett csapadék és a tengerszint emelkedése következtében széles körben fokozódik a kockázata annak, hogy több milliárd ember esik áradások áldozatául. A tengerek fenyegetik az iparilag- és mezőgazdaságilag legfejlettebb és legsűrűbben lakott területeket Amerikában, Európában, Ázsiában, Afrikában és Ausztráliában is (Dakka, Jakarta, Manila, Ho Si Minh-város, Bangkok, Kalkutta, Sanghaj, Kuala Lumpur, London, New York, Tokió, Hongkong,), ami az antroposzféra (épített környezet, emberi települések, földrendezés) súlyos károsodását eredményezi. [38]

A partvidékek lakosait a tengerszint emelkedéséből eredő partvidék-erózió is érzékenyen fogja érinteni. A fejlődő országok gyorsan urbanizálódó lakossága olyan szélsőséges időjárási eseményekre hajlamos partvidékeken és folyók árterületein él, amelyek gazdasága szorosan összekapcsolódik az éghajlatra érzékeny erőforrásokkal [19].

### **Levegőminőség és aeroallergének**

A levegőszennyezés: a közlekedésből származó kipufogó gázok, a por, a termelésből adódó füst, valamint a földközeli ózon, jelentős veszélyt jelentenek az emberi egészségre. A légszennyezést fokozó hatások közé tartoznak a szárazság miatt kialakuló erdőtüzek, a homokviharok, a porfelhők, és a tartós hőségre és szélcsendes időszakokra jellemző szmog. Ez elsősorban a városokban élő embereket veszélyezteti. Az ózonnal legterheltebb területen élő emberek 25-30%-kal nagyobb eséllyel halnak meg tüdőbetegségekben, mint a legtisztább levegőjű területeken élők. A tüdőbetegségek közül a krónikus obstruktív légúti betegség, a tüdőrák és a tüdő asthma egyaránt növekedő tendenciát mutat. A magasabb átlaghőmérséklet következtében és a légkondicionáló készülékek használatának az elterjedésével emelkedhet a *Legionella* betegség előfordulása.

Az allergén növényfajok virágzásának időtartama meghosszabbodik, emiatt fokozódik az emberek pollenterhelése. Az USA-ban több mint 40 millió ember szenved rhinitis allergica-tól. Az asthma bronchiale prevalenciája a felnőtt lakosság körében eléri a 16 milliót, a gyerekekénél a 9 milliót, ami az összlakosság 7,5%-nak az érintettségét jelenti. [8]

## **Ibolyántúli sugárzás**

A sztratoszféra ózonrétegének az elvékonyodása miatt jelentősen emelkedik a felszíni UV-sugárzás. Az UV-sugárzás és a bőrrák között igen szoros és egyértelmű kapcsolat. Az UNEP becslése szerint több mint két millió nem-melanoma bőrrák és megközelítően 200 000 rosszindulatú melanoma jelentkezik a Földön minden évben. Egy hosszantartó 10 %-os sztratoszférikus ózon csökkenés esetén, további 300 000 nem-melanoma és 4 500 melanoma bőrrák várható világszerte. [29]

A nagy mennyiségű UV-sugárzás hosszabb távú hatásai látás romlásához vezetnek: retina-gyulladás, rosszindulatú elváltozások, katarakták és kúszóhályog alakulhat ki.

Kb. 20 millió ember vak jelenleg világszerte katarakta miatt. Ezeknek, a WHO becslések szerint, 20 %-a lehet az UV expozíció miatt.

Az UV-sugárzás képes megváltoztatni az immunválaszt az ezek kiváltásáért felelős sejtek aktivitásának és eloszlásának megváltoztatásával. Számos tanulmány kimutatta, hogy a környezeti szintű UV expozíció elnyomja az immunválaszt, ami a szervezetben bujkáló vírusok aktivizálódásához vezet. [29]

## **Mentális betegségek**

A hirtelen kialakuló természeti katasztrófahelyzetek után jelentősen megemelkedik a különböző pszichés zavarok előfordulása. Ezeket a rendellenességek gyűjtő néven PTSD nevezik. Egyaránt kialakulhatnak közvetlenül a természeti katasztrófát követően (az otthon elvesztése, családtag halála miatt), vagy a későbbi időszakban (elvándorlás, menekülttáborok, vagy gazdasági kilátástalanság miatt). Különösen nagyarányú növekedés várható a veszélyeztetett csoportokban, például az idősek, a nők és a gyerekek körében. [28][26] Egyes vizsgálatok azt mutatták, hogy a PTSD kialakulása különböző természeti csapások következtében elérheti akár a 67%-ot is. [37] A természeti katasztrófák után az érintett csoportokban megemelkedik az öngyilkossági kísérletek száma. [1]

A kifejezetten veszélyeztető helyzet után néhány héttel, hónappal vagy akár évekkal később jelentkező poszttraumás stressz zavar főbb tünetei: a személy a traumát visszatérő gondolatok, képek, hangok vagy álmok formájában újraélheti, és ezekhez nagyfokú feszültség, szorongás is társulhat. A depresszió, alkohollal vagy más szerrel való visszaélés, és a szorongás gyakoriak a PTSD-s személyeknél. [35]

## **Biodiverzitás csökkenése**

Az állati és növényi fajok sokféleségének csökkenése már évek óta megfigyelhető. A különösen érzékeny fajok populációjában bekövetkezett változások fenyegetik a mikroökoszisztémák fennmaradását.

A gleccserek visszahúzódásából következő hidrológiai változás hat a tőle függő ökológiai rendszerekre is. Az Jeges-tenger jégtakarójának nyári visszahúzódása veszélyezteti a jegesmedve populációt. Több növényfaj életciklusa megváltozott, a növényi és az állatfajok skálája is átalakulhat.

A globális klímaváltozás miatt bekövetkezett változások nem lineárisak, hanem ugrásszerűek.

A hosszabb, melegebb nyarak és a kevésbé zord telek miatt a kártevők elszaporodnak és komoly károkat okoznak a termésekben, az erdő fáiban.

Az óceánok savasodásának súlyos következményei lehetnek, mert több tízezer tengeri faj kalcium-karbonátból építi fel a meszes vázát vagy csontjait. A világ óceánjaiban és a tengerparti területein a „halott övezetek” száma 1960-as évek óta minden évtizedben majdnem kétszeresére nőtt. Most már eléri a 400-at.

IUCN jelentése szerint 188 fajt komoly veszély fenyeget: 4 emlős fajt, - minden nyolcadik madárfajt, a kétéltűek egyharmadát, a számba vett növények 70%-át érinti. [20]

A növény és állatfajok ilyen mértékű csökkenése beláthatatlan hatással van az emberekre. Az ökoszisztéma-szolgáltatások állapota alapvetően meghatározza az emberiség életminőségét. A biodiverzitás elengedhetetlen az emberiség élelmezése, energiaellátása, ivóvízforrásai szempontjából.

### **Élelmiszerhiány**

A csapadékeloszlás változása miatt, a heves esőzések, valamint az elhúzódó szárazság következtében károkkal kell számolni mind a terményekben, mind az állatállományban. A talajerózió, és az elsivatagosodás, elsősorban az amúgy is gyengébb gazdasági potenciállal rendelkező területeket sújtja. A fejlett országokban a gyakoribb szélsőséges időjárási események következtében nemcsak a termés fizikai megsemmisülése, hanem a mezőgazdaságra fordítható költségek csökkenése miatt is adódhatnak problémák. A FAO adatai szerint a termőföld fokozódó romlása és az aszályok miatt csökken a gabona terméshozama, ami 1,5 milliárd ember élelmének biztonságát veszélyezteti. Naponta kb. 24000 ember hal éhen vagy az éhezés következtében kialakult betegségbe hal bele. Az áldozatok háromnegyede öt éven aluli gyerek. Az éhen haltaknak csak 10%-a lakott háborús övezetben. Az éhhalálok többségének krónikus alultápláltság az oka. Becslések szerint világszerte mintegy 800 millió ember szenved éhezéstől és alultápláltságtól; ez körülbelül százszorosa az aktuális évi elhalálozás számának. [14]

### **A környezeti menekültek kérdésköre**

A globális klímaváltozás indukálta tömeges elvándorlás több okra vezethető vissza. Részben a természeti csapások okozta infrastrukturális károsodás miatt, részben az éghajlatváltozás következtében kialakuló éhínség, vízhiány, betegségek miatt, részben a szűkösebb erőforrásokért kirobbanó konfliktusok miatt [25]. Minden esetben számolni kell egyidejű és nagyszámú tömeges elvándorlással. Az erőforrásokért folyó verseny akkor indul meg, amikor a helyi és a betelepült népességnek meg kell osztania a fennmaradáshoz szükséges forrásokat, ami tovább erősítheti a már fennálló etnikai és társadalmi feszültségeket. [36]

A heves viharok, áradások, szárazság, vagy éppen a járványok terjedése által kiváltott népvándorlások nem csak humanitárius támogatáshoz, hanem akár katonai beavatkozásokhoz is vezethetnek. [7]

Minden esetben az egészségügyi rendszerben ellátási gondok jelentkeznek: vagy az extrém időjárási tényezők következtében, mely az infrastruktúrában bekövetkezett károk miatt alakul ki, vagy a szolgáltatással szemben megnövekedett kereslet miatt. Külön említést érdemel a



kialakult közegészségügyi és járványügyi helyzet. A meglévő egészségügyi rendszerek nem igazán vannak berendezkedve a hasonló szituációk megoldására.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A globális klímaváltozás egészségügyi hatásai nyilvánvalóak. Jelenleg rendelkezésre álló adatok ismeretében a különböző szélsőséges időjárási események különböző mértékben fogják súlytani az egyes területeket. A szegényebb közösségek különösen sebezhetőek korlátozottabb alkalmazkodóképességük miatt. Ahol a szélsőséges időjárási események intenzívebbé és gyakoribbá válnak, ott a gazdasági és társadalmi költségek nőni fognak, és ezek a növekedések a közvetlenül érintett szektorokból átterjednek más területekre, kiterjedt és bonyolult kapcsolatokat érintve. A globális klímaváltozás egészségügyi következményei a jelenleginél sokkal nagyobb anyagi terheket rónak az államháztartásra és az egészségügyi ellátó rendszerekre.

A világ számos országában olyan terveket és projekteket készítenek elő, melyek segítségével pontosabban modellezhető a várható környezeti katasztrófák feltételezett hatásai. Az ENSZ, a WHO, a FAO, az OIE, és a Nemzetközi Meteorológiai Világszolgálat együttműködve kísérik figyelemmel a globális klímaváltozás okozta hatásokat és a kapott eredmények birtokában prognosztikus számításokat végeznek. Magyarországon a Magyar Tudományos Akadémia VAHAVA programja foglalkozik a kérdéssel.

Az Európai Unió egészségügyi programja keretében számos olyan projekt működik, mely a szélsőséges időjárás következményeit kutatja. Komoly összegeket fordítanak az éghajlatváltozás közegészségügyi hatásainak a vizsgálatára.

A EUROHEIS információs rendszer foglalkozik a környezet egészségre gyakorolt hatásai tekintetében kockázatértékeléssel és betegségek térképes ábrázolásával. Az EUROSUN szám- szerűsíti a napsugárzásnak való kitettséget és annak egészségre gyakorolt hatásait. Az EuroHEAT projekt keretében kidolgozásra került a felkészültség fokozása és korai figyelmeztető és megfigyelési rendszer összehangolása. A CEHAPIS projekt az éghajlatra, a környezetre és az egészségre vonatkozó cselekvési terv és információs rendszer kiépítésére szolgál. A HIALINA információs hálózat foglalkozik a levegő által terjesztett allergének egészségre gyakorolt hatásaival. A CLIMATE-TRAP projekt keretében az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás képességét és hatásvizsgálatokat elemzik. [3]

A globális éghajlatváltozás egészségre gyakorolt hatásainak a következményeként szükséges az egészségügyi és a szociális rendszerek ellátó képességének a növelése. A klímaváltozás okozta megfelelő epidemiológiai adatgyűjtés, az adaptációs mechanizmusok kidolgozása, az összehangolt cselekvési tervek kifejlesztése és összehangolása összességében arra irányulnak, hogy mérsékeljék az éghajlatváltozás egészségkárosító hatásait. Külön figyelmet kell szentelni arra, hogy megfelelően becsüljük meg, az éghajlatváltozás milyen hatással jár a veszélyeztetett csoportokra. Tovább kell fejleszteni és erősíteni a hatékony egészségügyi intézkedések és a megfelelő egészségügyi válaszlelések azonosítása érdekében, a sürgősségi egészségügyi szolgáltatásokat, a korai figyelmeztetést, és a veszélyeztetett társadalmi csoportok tájékoztatását.

2009 decemberében Koppenhágában a világ állam- és kormányfői azzal a céllal gyűltek össze, hogy globális és átfogó megoldást találjanak a klímaváltozást okozó összes tényezőre. A

konferencia során nem született olyan megállapodás, amivel mindenki elégedett lett volna. A Koppenhágai Egyezség nevű dokumentumban nem szerepelnek konkrét számok, hogy milyen határidővel és mennyire csökkentik az egyes országok az üvegházhatású gázok kibocsátását.

A kormányok, civil szervezetek, nemzetközi egyesületek és mozgalmak egységes, összehangolt nemzetközi együttműködésével és összefogással lehet megfelelően felkészülni a ránk váró globális éghajlatváltozás következményeire.

### **RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE**

CEHAPIS: Éghajlati, Környezeti és Egészségügyi Cselekvési Terv és Információs Rendszer.  
CLIMATE-TRAP: Program az Éghajlatváltozásra való felkészüléshez..  
CRED: Katasztrófák Előfordulását Kutató Központ  
EuroHEAT: Európai Korai Figyelmeztető és Megfigyelési Rendszer.  
EUROHEIS: Európai Egészségügyi és Környezetvédelmi Információs Rendszer a Kockázatértékelésre és a Betegségek feltérképezésére.  
EUROSUN: A Napsugárzás Egészségre Gyakorolt Hatását Vizsgáló Rendszer.  
FAO: Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezet  
HIALINA: A Levegőben Terjedő Allergének Egészségre Gyakorolt Hatását Vizsgáló Rendszer.  
IPCC: Éghajlat-változási Kormányközi Testületet  
IUCN: Nemzetközi Természetvédelmi Unió  
OIE: Állategészségügyi Világszervezet  
PTSD: Poszttraumás stressz zavar  
UNEP: Egyesült Nemzetek Fejlődési Környezeti Programja  
UNRP: ENSZ Környezeti Programja  
VAHAVA: Változás-hatás-válaszadás projekt  
WCS: Nemzetközi Vadvédelmi Szervezet  
WHO: Egészségügyi Világszervezet

### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] ANASTARIO MP, et al.. Using mental health indicators to identify postdisaster gender-based violence among women displaced by Hurricane Katrina. *J Womens Health (Larchmt)*. 2008 Nov;17(9):1437-44.
- [2] ANDERSON BG, Bell ML Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*. 2009 Mar;20(2):205-13.
- [3] Az éghajlatváltozás hatása az emberek, az állatok és a növények. Fehér könyv. Bizottsági szolgálati munkadokumentum. Sec. Brüsszel, 2009.04.01. 416
- [4] BARNARD LF, Excess winter morbidity and mortality: do housing and socio-economic status have an effect? *Rev Environ Health*. 2008 Jul-Sep;23(3):203-21.
- [5] BENTHAM G, Langford IH. Environmental temperatures and the incidence of food poisoning in England and Wales. *Int J Biometeorol*. 2001 Feb;45(1):22-6.
- [6] BIELLO D. Deadly by the Dozen: 12 Diseases Climate Change May Worsen. *Scientific American*, October 8, 2008.
- [7] BRODER J M, Climate Change Seen as Threat to U.S. Security. *The New York Times*, August 8, 2009.
- [8] CDC. Centers for Disease Control and Prevention. Morbidity and Mortality Weekly Report Supplement September 24, 2004.
- [9] CHAFE Z. Városok és természeti katasztrófák. A világ helyzete 2007. Wordwatch Institute. Budapest. 2007, 164-165.
- [10] CONFALONIERI U. Will increased awareness of the health impacts of climate change help in achieving international collective action? *Bull World Health Organ*. 2007. Nov;85(11):826-8.
- [11] CULLEN E. Climate change and water related illness. *Ir Med J*. 2008 Sep;101(8):234, 236.
- [12] EPSTEIN PR. Climate change and human health. *N Engl J Med*. 2005 Oct 6;353(14):1433-6.
- [13] ESTRADA-PENA A. Tick-borne pathogens, transmission rates and climate change. *Front Biosci*. 2009 Jan 1;14:2674-87.
- [14] FAO. The Food and Agriculture Organization. [www.fao.org statistics](http://www.fao.org/statistics), 2009

- [15] HOUGHTON et al., Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations-Mauna Loa Observatory, Hawaii, 1958-2000, 2001.
- [16] HOUGHTON J.T. et al., eds., The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001.
- [17] <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC55391.pdf>, 2009.
- [18] IPCC Fourth Assessment Report (AR4). "Climate Change 2007" [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf). Climate Change 2007.
- [19] IRIN. GLOBAL: Climate change may drown cities. <http://www.irinnews.org/Report.aspx?ReportId=81117>, August, 2009.
- [20] IUCN. International Union for Conservation of Nature <http://www.iucn.org/what/biodiversity>. 2009
- [21] KING, J. Physiological responses and adaptations to exercise in hot and cold environments. *J. Hyperplasia Res.* 2004, 4(3): 103-121.
- [22] KNOWLTON K. The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environ Health Perspect.* 2009 Jan;117(1):61-7
- [23] LAU, W.M., Roberts and C. Forbes-Ewan. Physiological performance of soldiers conducting long range surveillance and reconnaissance in hot, dry environments. 2000.
- [24] LÉVAY Gábor. A globális felmelegedés lehetséges hatása a biztonságra. HM, Budapest, 2007. [http://www.hm.gov.hu/hirek/kiadvanyok/uj\\_honvedsesegi\\_szemle/a\\_globalis\\_felmelegedes](http://www.hm.gov.hu/hirek/kiadvanyok/uj_honvedsesegi_szemle/a_globalis_felmelegedes)
- [25] LUGAR R. Opening Statement for Hearing on National Security. Washington, DC, 9 May 2009.
- [26] MCFARLANE AC, Van Hooff M. Impact of childhood exposure to a natural disaster on adult mental health: 20-year longitudinal follow-up study. *Br J Psychiatry.* 2009 Aug;195(2):142-8.
- [27] MCMICHAEL, A.J. et al. Climate change and human health : risks and responses". World Health Organization, Geneva. WHO Library Cataloguing-in-Publication. 2003
- [28] MURPHY SA. Women's and children's exposure to mass disaster and terrorist attacks. *Issues Ment Health Nurs.* 2010 Jan;31(1):45-53.
- [29] NORVAL M. The effects on human health from stratospheric ozone depletion and its interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci.* 2007 Mar;6(3):232-51
- [30] PÁLDY A: Effect of Elevated Temperature on Daily Emergency Ambulance Calls: A Time Series Analysis in Budapest., Hungary 1998-2004. *Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine* 13. (2) 159-169. 2007
- [31] RODGER AJ, Cluster of falciparum malaria cases in UK airport. *Emerg Infect Dis.* 2008 Aug;14(8):1284-6.
- [32] STERN N, The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge, 2007, 417
- [33] TILSTON N, Skelly C, Weinstein P. Pan-European Chikungunya surveillance: designing risk stratified surveillance zones. *Int J Health Geogr.* 2009 Oct 31;8:61.
- [34] UNICEF, <http://www.mb.com.ph/node/224793/diarrhea-cau>
- [35] van den BERG B, et al., Risk factors for physical symptoms after a disaster: a longitudinal study. *Psychol Med.* 2008 Apr;38(4):499-510. Epub 2007 Sep 25.
- [36] WALLACE J. Az éghajlatváltozás biztonsági vonatkozásai. A világ helyzete 2009. Budapest. 2009: 88-91.
- [37] WANG X, et al. Longitudinal study of earthquake-related PTSD in a randomly selected community sample in north China. *Am J Psychiatry.* 2000 Aug;157(8):1260-6.
- [38] WWF. For a Living Planet. Mega-Stress for Mega-Cities. 28 March 2009.



Szüllő Ádám<sup>1</sup>

## PASSZÍV RADARRENDSZER A LÉGI FELDERÍTÉSBE – WAMLAT<sup>2</sup>

*A hagyományos légi felderítés esetén szükséges megvilágító jel használata számos problémát vethet fel. Katonai alkalmazás esetén a legfőbb probléma a felderítő radar észlelhetősége, míg polgári esetben az elfoglalt frekvenciasáv költségvonzata. Technikai nehézségeket okozhat a szükséges nagy jelteljesítmény előállítás is. Passzív esetben ezen problémák nem jelentkeznek, hiszen a radarrendszer ebben az esetben csupán „hallgatózik”. Egy ilyen rendszer rádió felderítési módszerekkel nem észlelhető, nem okoz interferenciát más rendszerekben, továbbá rugalmasan telepíthető, a tisztán vételi üzemmód miatt nem szükséges engedélyeztetés. A cikkben bemutatott rendszer multilaterációs technika segítségével teszi lehetővé egy nagyobb területen elszórt vevők (WAMLAT – Wide Area Multilateration) által gyűjtött fedélzeti transzponder jelek alapján polgári repülőgépek pozíciójának mérését. A multilaterációs technika időmérésen alapul, ezért minden egyes vételi helyen szükséges nagy pontosságú szinkronizáció biztosítása. A kifejlesztett órajel generátor részegység a GPS rendszerhez történő szinkronizáció által képes mind frekvenciában, mind fázisban szinkron órajelet biztosítani az időmérés céljából az egyes vételi helyeken.*

### **PASSIVE DISTRIBUTED RADAR SYSTEM FOR AIR SURVEILLANCE - WAMLAT**

*Classical air surveillance radars have a major problem which is the necessity of the exciter source. In a military application the signal source prohibits the radar system to stay hidden, while in the civil case it has an obligatory frequency allocation fee. Passive radar systems are only listening, so they will not interfere with other systems, and can not be detected by ELINT. This article presents a multilateration based system, which makes possible detection and positioning of aerial vehicles by distributed receivers (WAMLAT - Wide Area Multilateration). This technique is based on time measurement, therefore it is necessary to keep the receivers in synchronous state. The article also demonstrates a developed GPS based oscillator, which can provide precise phase synchronous clock signal at every receiver station.*

## BEVEZETÉS

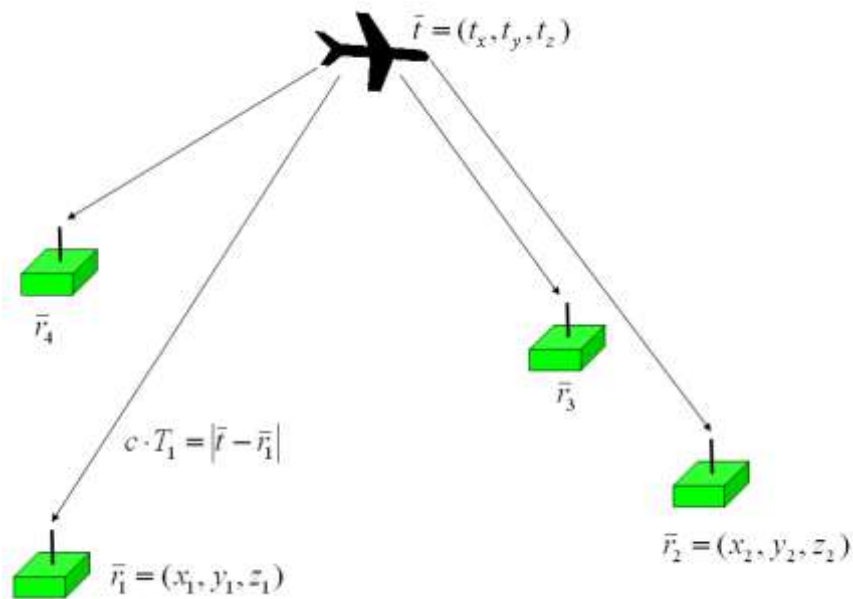
A BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Mikrohullámú Távérzékelés laboratóriuma egy multilaterációs radarrendszer kifejlesztésére vállalkozott. A projekt újszerűsége következtében több részterületen intenzív kutatási és fejlesztési tevékenységet igényel. A multilaterációs radarrendszer egy elosztott, a rendszerre vonatkoztatott abszolút idő mérésén alapuló mérőrendszer. Az egyes, földrajzilag szétszórt mérési pontokon szükséges egy nagy pontosságú, egymáshoz szinkronizált órajel források biztosítása. A kiépítendő rendszer nagy terület lefedését célozza meg (WAMLAT), ezért nem célszerű vezetékes órajel szétosztó hálózat kiépítése. A bemutatott megoldás a GPS műholdak vétele alapján állítja elő a nagy pontosságú, szinkronizált órajelet.

<sup>1</sup> BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriuma; szullo@mht.bme.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Ludányi Lajos ny. okl. mk. alez; főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ludanyi.lajos@uni-nke.hu

## MULTILATERÁCIÓ

A multilaterációs technika használata feltételezi a több vevőállomás általi vételt, azaz a jelforrást egyszerre legalább (egy későbbiekben meghatározott) minimális számú vevő érzékeli (multisztatikus vétel – 1. ábra), valamint ezen jelforrás és a mérőrendszer közötti függetlenséget. Ez utóbbi feltétel annak a következménye, hogy a multilateráción alapuló pozíció mérési eljárás esetén nem ismert a mérendő jelforrás jelindítási ideje. Ezen ismeretlen paraméter következtében nem használható a hagyományos radarrendszerek estén mért TOA<sup>3</sup> érték(ek). Az egyes állomások által vett jelek beérkezési idejének (a rendszer egészére vonatkoztatott abszolút idő alapján) precíz mérése lehetővé teszi az egyes állomások közötti TDOA<sup>4</sup> értékek meghatározását, amely adathalmaz a megfelelő algoritmus segítségével átalakítható a jelforrás tényleges pozícióját jól közelítő eredménnyé.



1. ábra Multisztatikus vétel

A vett jelek beérkezési ideje a rendszer abszolút idejéhez viszonyítottan kerül meghatározásra, az egyes időkülönbségek számítása az egyik tetszőlegesen kiválasztott állomáshoz viszonyítottan történik.

$$c \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ T_{diff,1} \\ T_{diff,2} \\ \dots \\ T_{diff,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |\vec{r} - \vec{r}_0| - |\vec{r} - \vec{r}_1| \\ |\vec{r} - \vec{r}_1| - |\vec{r} - \vec{r}_0| \\ |\vec{r} - \vec{r}_2| - |\vec{r} - \vec{r}_0| \\ \dots \\ |\vec{r} - \vec{r}_N| - |\vec{r} - \vec{r}_0| \end{bmatrix} \quad (1)$$

A TDOA értékek és a keresett pozíció közti kapcsolatot egy nemlineáris egyenletrendszer (1)

<sup>3</sup> TOA - Time of Arrival - A jel indítása és vétele között eltelt idő.

<sup>4</sup> TDOA - Time Difference of Arrival - Az egyes vételi helyeken mért a jelekhez hozzárendelt abszolút idők különbsége

adja meg, ahol az  $\mathbf{r}_n$  helyvektorok az egyes vételi állomások térbeli pozícióját, míg  $\mathbf{t}$  helyvektor a jelforrás pozícióját adják meg. Geometriailag az egyenletrendszer az egyes időkülönbségek és hozzá tartozó helyvektor párok által meghatározott forgás-hiperbolidok metszéspontjára vezet.

### Lineáris egyenletrendszerre vezető megoldás [1][2]

A multilaterációs elvből származó nemlineáris összefüggések ellenére, megadható egy lineáris egyenletrendszer alapú leírás (2), mely a hagyományos matematikai eszköztár segítségével megoldható. A nemlineáris összefüggések ebben az esetben az egyenletrendszer egyes paramétereiben jelennek meg.

$$0 = xA_n + yB_n + zC_n + D_n \quad (2)$$

Az (2) egyenlet N darab vevőt feltételezve N-2 fokú egyenletrendszert ad meg (3).

$$\begin{bmatrix} -D_2 \\ -D_3 \\ -D_4 \\ \dots \\ -D_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \\ A_4 & B_4 & C_4 \\ \dots & \dots & \dots \\ A_{N-1} & B_{N-1} & C_{N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3)$$

A (tetszőlegesen megválasztott)  $n=0$  és  $n=1$  indexű vevő referenciaként szolgál az (3) egyenletrendszer paramétereinek (4), (5), (6), (7), valamint ezen paraméterek segédparamétereinek (8), (9) megadásában.

$$A_n = \frac{2x_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2x_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (4)$$

$$B_n = \frac{2y_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2y_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (5)$$

$$C_n = \frac{2z_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2z_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (6)$$

$$D_n = c \cdot T_{diff,n} - c \cdot T_{diff,1} - \frac{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}{c \cdot T_{diff,n}} + \frac{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (7)$$

$$c \cdot T_{diff,n} = R_n - R_0 \quad (8)$$

$$R_n = |\bar{\mathbf{t}} - \bar{\mathbf{r}}_n| \quad (9)$$

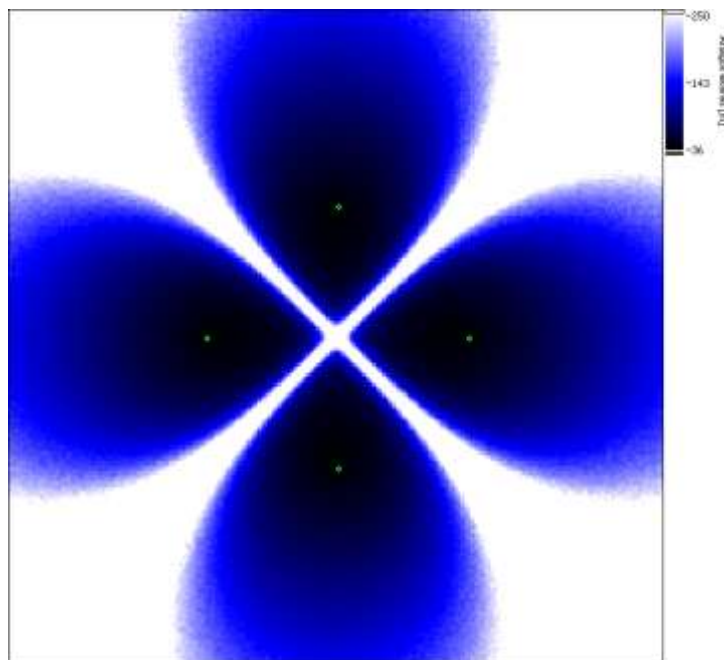
A multilateráción alapuló pozíció meghatározás a közel síkbeli vevő elrendezés következtében nem alkalmas magassági érték meghatározására. Ennek következtében a továbbiakban csak a kétdimenziós, síkbeli pozíció meghatározására korlátozódik a vizsgálódás. Kétdimenziós pozíció meghatározás esetén az egyenletrendszer (3) alapján belátható, hogy legalább 4

vevő szükséges a pozíció meghatározásához. További megfigyelési pontokat felhasználva javul a multilateráció pontossága.

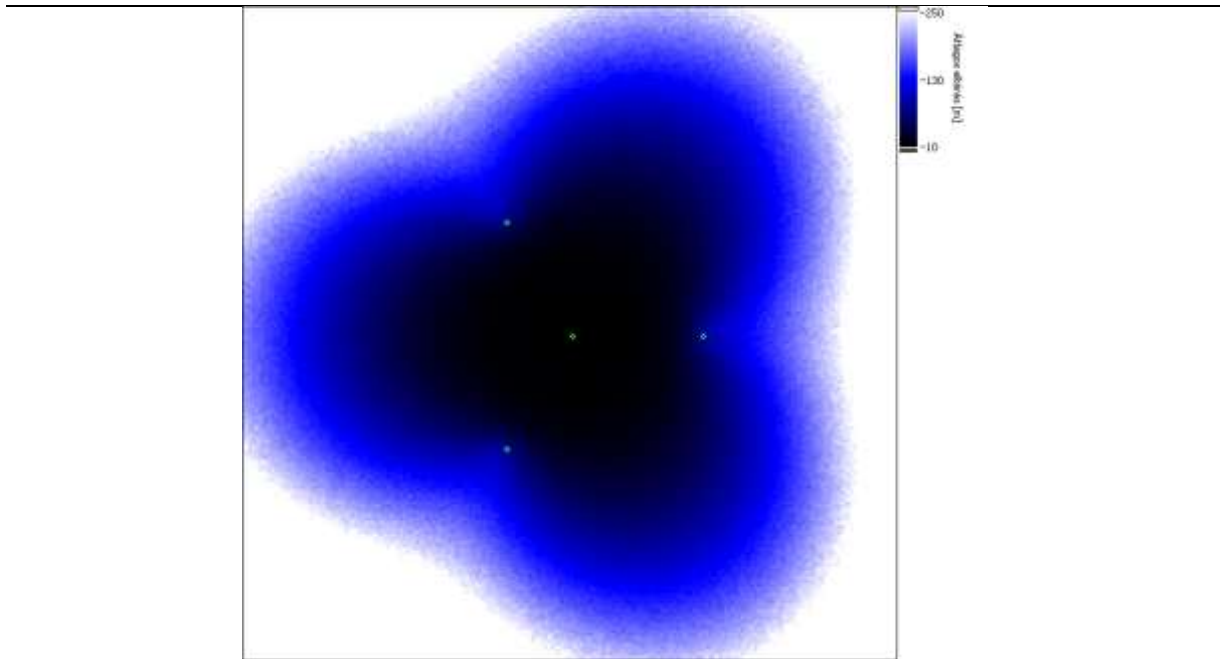
### Radarrendszer geometriai elrendezésének hatása

A multilateráció vizsgálata Monte Carlo szimulációs módszerrel lett elvégezve. A szimulációkra jellemző a 100 x 100 km-es vizsgálati terület, a vevők e területen belül kerültek elhelyezésre. A céltárgy magassága minden esetben a vevők síkja felett 10 km-rel volt. A 2. ábra esetén látható egy maximálisan szimmetrikus, minimális számú, négyvevős elrendezés pozíciómérési hiba térképe. Az ábrán látható zöld pontok a vevők helyzetét jelölik. A szimuláció során az egyes vevők időmérését 30 ns szórású, egymással független fehérzaj terheli. A sötétebb színek kisebb pozíció mérési hibát, míg a világosabb színekkel jelölt területeken a pozíciómérés pontossága jelentősen rosszabb a geometriai elrendezés következtében. A hiba jellemzése a tényleges pozíciótól mért abszolút eltérés, mint valószínűségi változóra számolt szórás alapján történik. A vevők által meghatározott négyzet oldalfelező merőlegesei mentén észlelt jelentős pozíciómérési bizonytalanság az elrendezés szimmetria tulajdonságaira vezethető vissza. Geometriailag belátható, hogy az egyenes mentén elhelyezkedő céltárgy esetén az ehhez közelebbi (egyenesre szimmetrikus) vevő pár által meghatározott hiperbola, valamint a céltárgytól távolabbi vevő pár által kijelölt görbe nagy távolságon "együtt fut" ezért metszéspontjuk meghatározása rendkívül bizonytalan.

A 3. ábra esetén látható a négyvevős optimális elrendezés pozíciómérési hibaterképe, azonos időmérési bizonytalansággal, azonos területű, az elrendezés köré felvehető körrel. Az ábra alapján megállapítható, hogy gyakorlatilag a vevők által meghatározott területen belül elhelyezkedő céltárgyak pozíciójának mérése lehetséges kielégítő pontossággal.



2. ábra Minimális számú vevő szimmetrikus elrendezése esetére szimulált pozíciómérési hiba



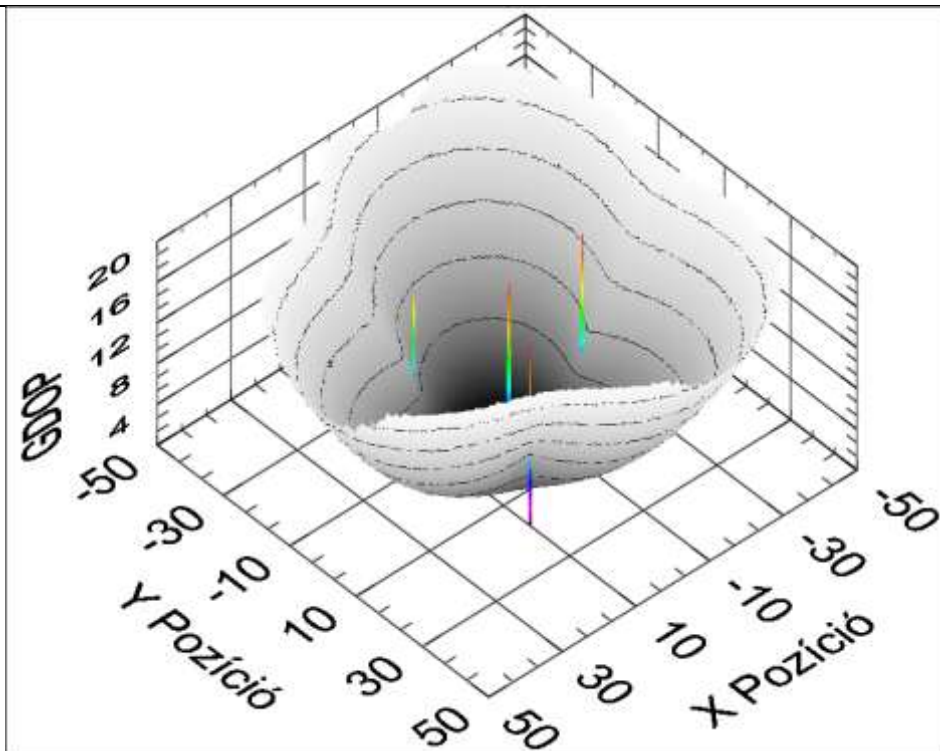
3. ábra Minimális számú vevő optimális elrendezése esetére szimulált pozíciómérési hiba

A 2. ábra és 3. ábra esetén a szimuláció egy konkrét értékű időmérési bizonytalanságot tételez fel. Egy tetszőleges geometriájú vevőelrendezés jellemzése nyilván nem függhet a vevők pozíciómérési bizonytalanságától. Erre a célra megfelel a GDOP<sup>5</sup> elnevezésű, dimenzió nélküli arányszám. A GDOP értéke egy adott pontban az ennél a helyvektornál fellépő pozíciómérési bizonytalanság és az időmérési bizonytalanság pozícióra történő átváltása hányadosaként számítható. A multilateráció nemlineáris összefüggései miatt nem teljesül a GDOP érték időmérési bizonytalanság nagyságától való függése, azonban utóbbi néhány nagyságrend széles-ségű tartományában a közel lineáris hibaterjedés következtében ezen függés elhanyagolható.

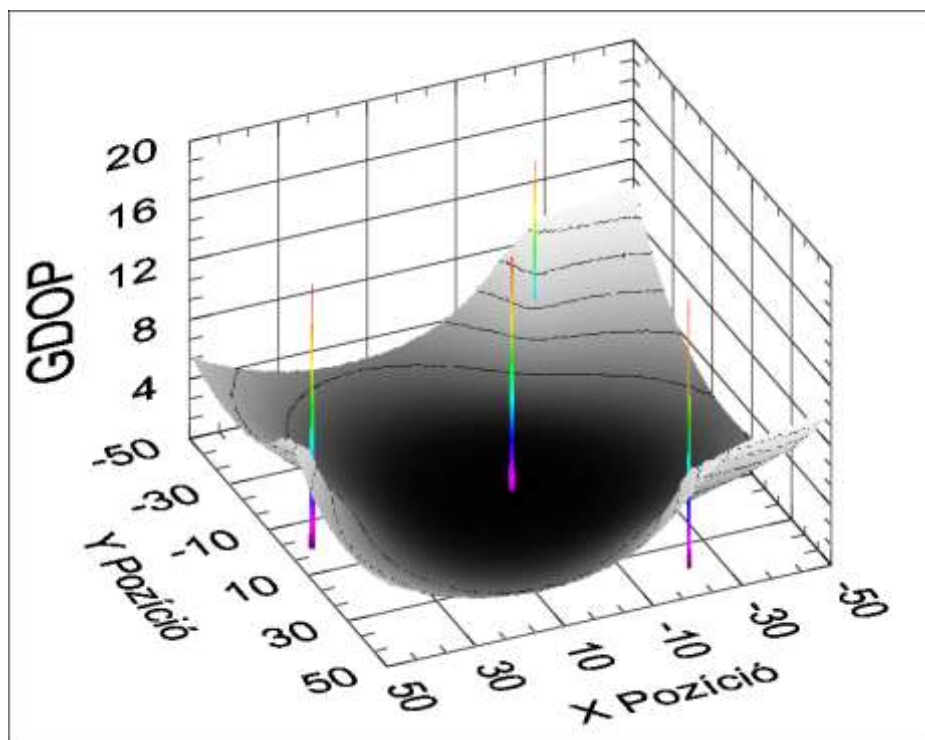
A 4. ábra alapján megállapítható, hogy a vevőállomások által lefedett területtől távolodva rohamosan romlik a pozíciómérés pontossága.

<sup>5</sup> GDOP – Geometric Dilution of Precision – a geometriai elrendezésből származó mérési pontosság romlás nagysága





4. ábra Minimális számú vevő optimális elrendezése esetére szimulált pozíciófüggő GDOP diagram



5. ábra 4 vevő optimális elrendezése nagyobb területen; szimulált pozíciófüggő GDOP diagram

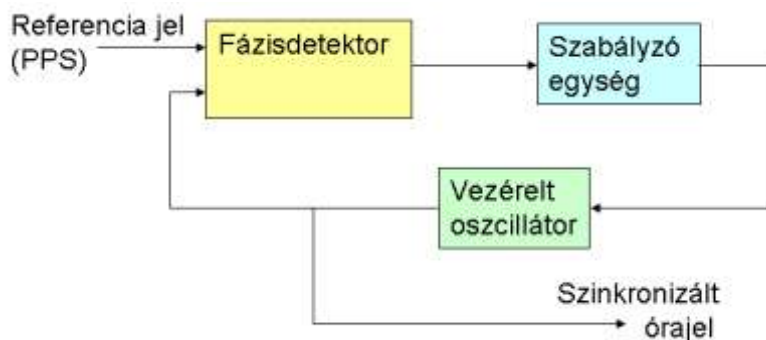
A 4. ábra és 5. ábra összevetése alapján belátható, hogy a vevők által meghatározott terület nagyságát növelve a pozíciómérési pontosság nem romlik. Ennek következtében a vételi zóna nagyságát csupán a vevőállomások hatótávolsága korlátozza.

Az előző fejezet alapján megállapítható, hogy a pozíciómérés pontosságát elsősorban az egyes állomásokon történő időmérés pontossága határozza meg. A multilaterációs rendszer működésének tehát alapvető fontosságú feltétele az egyes vételi állomások helyi óráinak együttfutása. A flexibilis és gyors telepítést, valamint a vételi helyek közötti távolságot figyelembe véve nem építhető ki vezetékes (optikai/réz) órajel elosztó hálózat (mely jelentős költségvonzattal is járna). Mikrohullámú átviteli lánc alkalmazása az engedélyezettési vonzata és (katonai szempontból) felderíthetősége miatt kerülendő. Az atomóra alapú GPS<sup>6</sup> rendszer bevonása lehetővé teszi teljesen passzív vevőállomások létrehozását.

A GPS rendszer nagy pontosságú időalapja egy GPS vevőn keresztül a PPS<sup>7</sup> jelkimeneten érhető el. Ez egy nagy pontosságú, a GPS rendszer időalapjának másodpercéhez szinkronizált 1 Hz ismétlési frekvenciájú impulzus sorozat. Legnagyobb hátránya, hogy jelentős zajjal terhelt, az ideális időhöz képest jelentős szórással (jitter) bír. Ennek következtében szinkronizációs alapként történő felhasználása során megfelelő szűrési módszereket kell alkalmazni.

### GPSDO

A GPS által szinkronizált oszcillátorokat angol terminológia szerint GPSDO<sup>8</sup>-nak nevezik. Általános felépítésükre jellemző a zárt szabályozási hurok (6. ábra).



6. ábra Szabályzási kör általános blokkvázlata

A kifejlesztett szinkronizált órajelet biztosító eszköz egy teljesen digitális megoldás. Ebben az esetben a fázisdetektor, a szabályzó, valamint a vezérelt oszcillátor is digitális módon kerül megvalósításra. A digitális oszcillátor az NCO<sup>9</sup> technika segítségével – kellő bitfelbontás esetén – rendkívül nagy frekvencia és fázis felbontást képes biztosítani. Lévé a teljes szabályzási kör numerikusan van megvalósítva, a PPS jel véletlenszerűségét leszámítva teljesen determinisztikus működést biztosít. Az elérhető stabilitásnak, és pontosságnak csak a lokális oszcillátor stabilitása szab gátat. A szinkronizált órajelet az NCO numerikus értékeiből DDS<sup>10</sup> technika segítségével lehet előállítani (7. ábra).

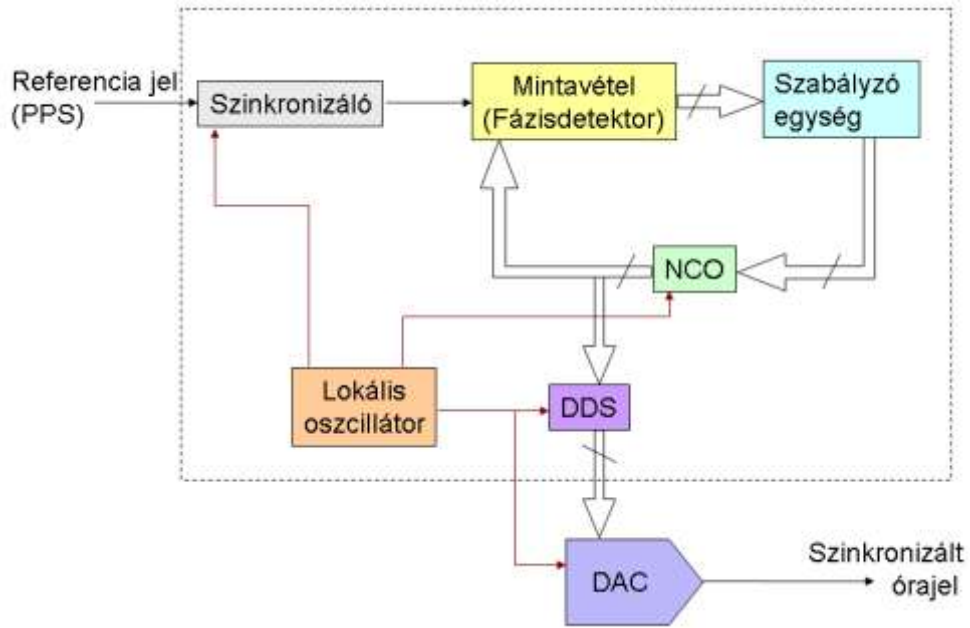
<sup>6</sup> GPS – Global Positioning System – Globális Helymeghatározó Rendszer

<sup>7</sup> PPS – Pulse Per Second – másodpercenkénti impulzus

<sup>8</sup> GPSDO – GPS Disciplined Oscillator – GPS stabilizált oszcillátor

<sup>9</sup> NCO – Numerically Controlled Oscillator – Numerikusan hangolt digitális oszcillátor

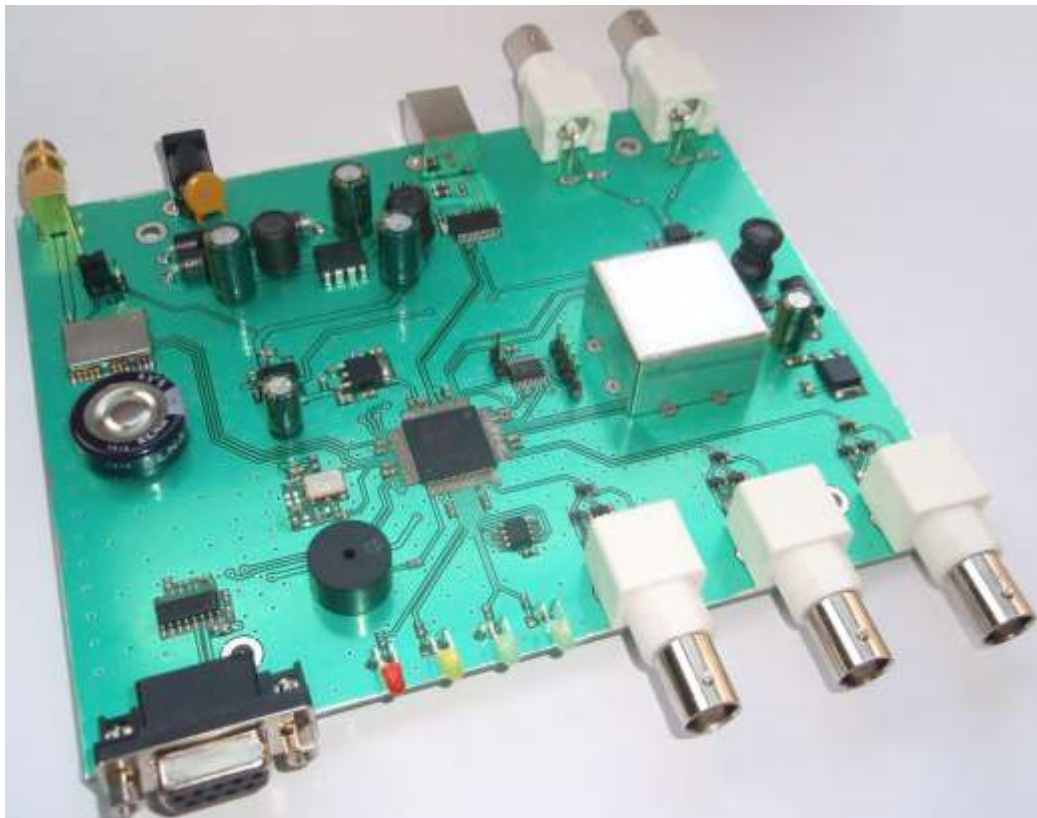
<sup>10</sup> DDS – Direct Digital Synthesizer – Direkt digitális szintézis



7. ábra Teljesen digitális GPSDO blokkvázlata

### Kísérleti eszköz

Az elérhető pontosság és stabilitás valós körülmények közti mérése érdekében egy GPSDO eszköz került kifejlesztésre (8. ábra), két példányban. A két példányra az egymással történő összehasonlítás miatt van szükség. A GPS vevő egy általános célú modul.

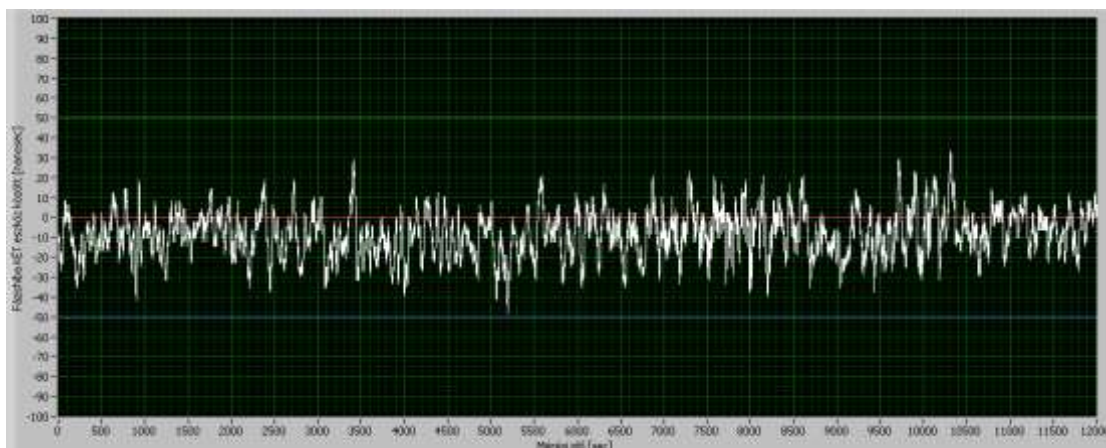


8. ábra GPSDO eszköz

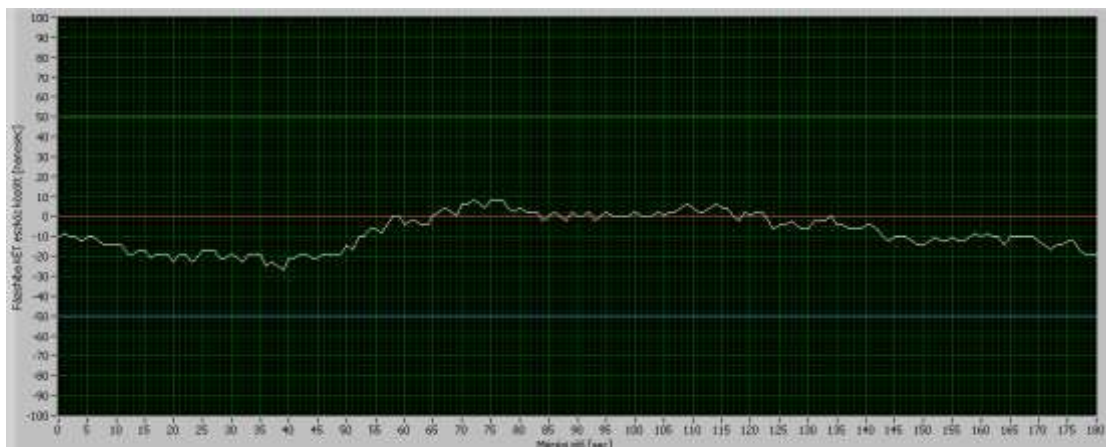
Az eszköz egy 10 MHz frekvenciájú referencia órajelet, valamint egy ezzel szinkron 1 Hz ismétlési frekvenciájú PPS jelet állít elő. Ez utóbbi a GPS PPS jelének jelentősen zavarászított változatának tekinthető. Az abszolút idő meghatározását a soros portokon elérhető szabványos GPS NMEA<sup>11</sup> üzenetek, a PPS jel, valamint a 10 MHz frekvenciájú referencia órajelet együttesen teszi lehetővé.

## Mérési eredmények

A minősítő mérés a két GPSDO eszköz PPS jelei közti fázishiba (időhiba) másodpercenkénti mérése alapján lett elvégezve (9. ábra , 10. ábra ).



9. ábra Fázishiba (ns skálázás) másodpercenkénti mintavételezéssel, 12000 másodperc



10. ábra Fázishiba diagram egy részlete, 180 másodperc

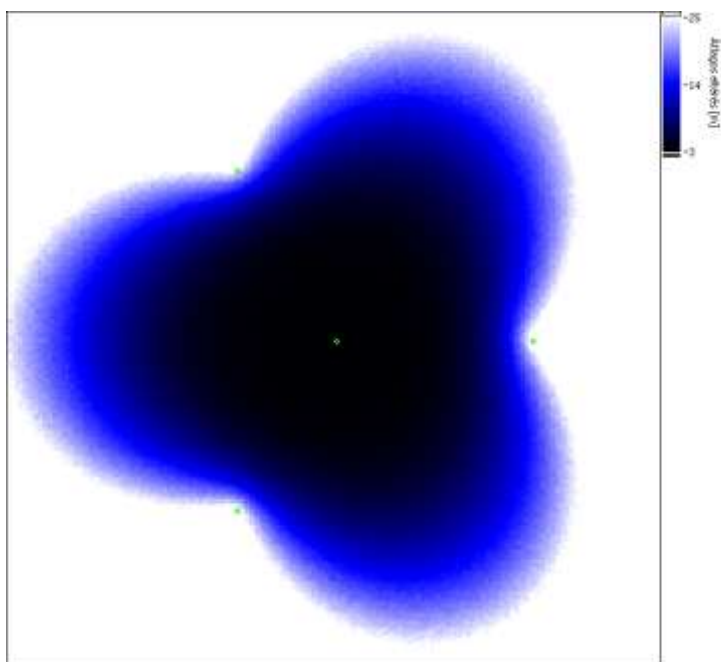
Hosszú távon a két eszköz között 14 ns szórással jellemezhető fázishiba figyelhető meg, amely szórásonban rövidtávon jelentősen kisebb. Feltételezve a két eszköz fázishibáinak függetlenségét, egy eszközre vonatkoztatva az egyes előállított órajelek fázishibája 10 ns szórással.

## Eredmény értékelése

A minősítő mérés alapján 10 ns szórással időmérési hibát feltételezve a pozíciómérés pontossága a 4 vevős, optimális elrendezés esetén a vételi állomások által meghatározott területen be-

<sup>11</sup> NMEA – National Marine Electronics Association – szabványos kommunikációs protokoll

lül 25 méter alatti szórással jellemezhető (11. ábra ).



11. ábra 10 ns szórású időmérési hiba hatása a pozícióérés pontosságára

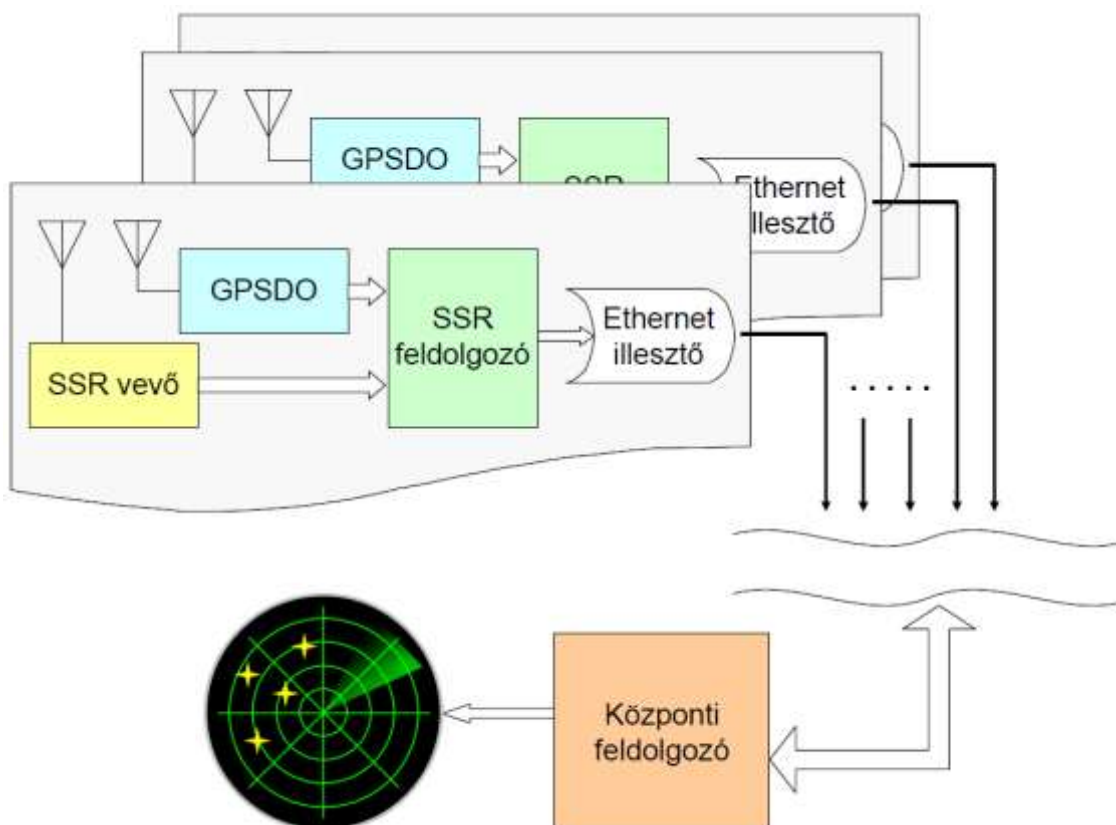
A mérési eredmények és a szimuláció alapján megállapítható, hogy több min 99%-os valószínűséggel a pozícióérés hibája kisebb, mint 75 méter. Hasonlóképpen a 100 méternél kisebb hiba már „négykilences” konfidenciával jellemezhető. A szimuláció mindazonáltal nem számol az egyéb, járulékos időérés pontosságát rontó tényezőkkel.

## WAMLAT

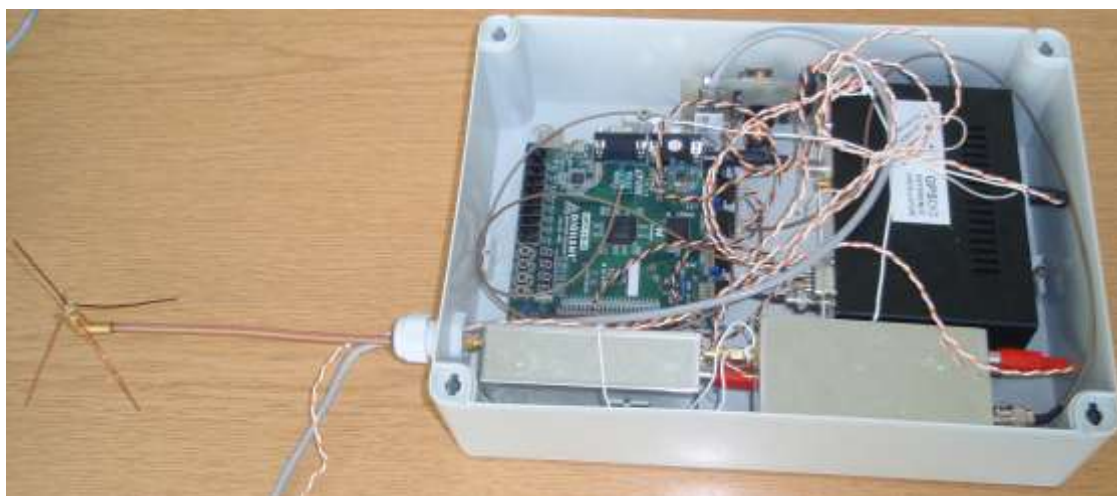
A kiépítésre kerülő WAMLAT rendszer multilaterációs technika segítségével polgári légi eszközök pozícióinak meghatározását tűzi ki célul. Az egyes járművek fedélzetén megtalálható SSR<sup>12</sup> transzponderek által sugárzott jelcsomagok vétele által lehetséges az egyes járművek térbeli és időbeli szeparációja. A transzponder a hagyományos, ún. Mode-A és Mode-C válaszokat alkalmazza az SSR rendszerben identifikáció és magassági adatok megadására. Külső szemlélő számára ezen két válasz megkülönböztetése nem lehetséges, csak az SSR radar kérdező jele ismeretében lehetséges elkülönítésük. A multilaterációs rendszer szempontjából ez nem okoz hátrányt, hiszen csupán az egyes vételi állomásokon szükséges az egyes válaszjelek kvázi szimultán vétele és egymástól történő elhatárolhatósága, valamint egyértelmű detekciója. Az SSR rendszer továbbfejlesztéseként jelent meg a transzponderek Mode-S üzemmódja, mely egy jóval fejlettebb struktúrájú, egyedi azonosítást lehetővé tevő adatcsomagokat használ fel a repülőgép felderítésére. A Mode-S üzemmód legnagyobb előnye multilaterációs szempontból az ún. Acquisition Squitter, mely a transzponder nagyjából másodpercenkénti automatikus jelzését jelenti. A viszonylagosan magas ismétlési gyakoriság hasznos a multilaterációs radarrendszerben történő alkalmazása során. [3]

<sup>12</sup> SSR – Secondary Surveillance Radar – szekunder radar

A pilot rendszer egyes vételi állomásai az SSR válaszjelek frekvenciájára hangolt antennákkal és detektorokkal érzékelik a beérkező jeleket. Digitalizálás után a lokális feldolgozó egység szeparálja és azonosítja az egyes válaszokat, ezekhez egyedi azonosítót, valamint a helyi GPSDO segítségével időbélyeget rendel. Az ily módon jelentősen redukált adatmennyiséget egy Ethernet csatoló segítségével az Interneten keresztül (titkosított módon) juttatja el a központi feldolgozó egységhez. Ezen központi egység végzi el a beérkező adatok összevetése alapján a multilaterációs pozíciószámítást, mely eredményt a rendeltetési helyére juttatja (12. ábra).



12. ábra WAMLAT rendszer blokkvázlata



13. ábra A WAMLAT rendszer egy vevőállomása



## KATONAI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

A cikkben bemutatott rendszer a polgári légi irányítás számára teremt egy alternatívát, azonban a multilaterációs elv, valamint a rendszer egy nagy része alkalmas katonai célból történő felhasználásra is. Az SSR válaszjel feldolgozó egység kiváltható más, ismert tulajdonságú jelek vételére alkalmas egységgel. A vevőállomások és a központi feldolgozó között meglévő elegendően szélessávú adatátviteli út megléte esetén, szélessávú vevők által vett jelek feldolgozási fázisát a központi állomásra áthelyezve lehetővé válik előre nem ismeret tulajdonságú jelek alapján történő multilateráció alapú, a jelforrásra vonatkozó pozíció mérése.

A rendszer kibővíthető félaktív üzemmódra váltással. Ebben az esetben egy, a rendszertől független megvilágító forrás használatával az egyébként rádióforgalmat mellőző céltárgy is érzékelhetővé válhat. Erre a célra már meglévő jelforrások (például TV/rádió adó) is felhasználhatóak. További lehetőség egy saját telepítésű feláldozható jelforrás használata, mely megsemmisítése esetén akár egy máshol elhelyezett hasonló eszköz veheti át szerepét.

A félaktív üzemmód esetén akár lopakodó képességű céltárgyak is detektálhatóvá válhatnak, hiszen ezen képességű repülőgépek visszaverési tulajdonságaira jellemző a towareflekszió, azaz az ezeket megvilágító forrás jeleit nem a forrás irányába verik vissza, hanem attól elfelé.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kifejlesztett eszközök lehetővé teszik egy, a hagyományos radarfelderítéstől független felderítő hálózat kiépítését. A rendszer a GPS alapú szinkronizálásnak köszönhetően a kellően jó pontosság mellett gyorsan és flexibilis módon telepíthető. A konkrét rendszer ugyan csak az SSR válaszjelek vétele alapján a polgári légi járművek (valamint békeidőben katonai repülőgépek) nyomon követését teszi lehetővé, azonban a vételi állomások vevő egységeinek cseréjével lehetővé válik a rendszer kiterjesztése más emittált jelek alapján történő bemérésre.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BUCHER, Ralph – MISRA, D.: A synthesizable low power VHDL model of the exact solution of three dimensional hyperbolic positioning system, VLSI Design 15(2), 507–520, 2002.
- [2] FANG, B.T. – Simple solutions for hyperbolic and related position fixes, IEEE Trans. Aerosp. Elect. Systems 26(5), 748–753, 1990
- [3] POTIER, Eric – TSG: Manual on Multilateration Surveillance, ICAO, Montreal, 2007.

Bozóki János<sup>1</sup>

## AVIONIKAI ÁTALAKÍTÁSI MUNKÁK A FINNORSZÁGTÓL KAPOTT MI-8T TÍPUSÚ SZÁLLÍTÓHELIKOPTEREKEN<sup>2</sup>

*Cikkemben a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem által végrehajtott avionikai átalakítási munkákat ismertetem, amelyek elengedhetetlenek voltak ahhoz, hogy a Magyar Köztársaság légterében repüléseket végrehajthassanak a Finnországtól kapott Mi-8T típusú szállítóhelikopterek. Mivel ezek a helikopterek a finn elvárásoknak, jogszabályoknak megfelelően kerültek kialakításra, ezért a szükséges változtatások nélkül nem illeszkedtek a Magyar Honvédség kiszolgáló és logisztikai rendszerébe. Bemutatom a már megvalósított fejlesztéseket, amelyek alkalmazásával sikeresen integráltuk a helikopterek fedélzeti rendszerébe a rendszeresített avionikai berendezéseket. Kitérek a felhasználók, azaz a Magyar Honvédség légiereje, szárazföldi csapatai elvárásainak megfelelő modernizálási feladatokra, amelyek eredményeként a két helikopter légialkalmassági vizsgálata eredményes berepüléssel zárult.*

### **AVIONIC MODIFICATIONS ON THE FINNISH CHARITY MI-8T TRANSPORT HELICOPTERS**

*In my article I wish to detail the avionic modifications made by the Hungarian Defence Forces Aircraft Repair Plant to enable the Finnish Charity Mi-8T Transport Helicopters to fly in Hungarian airspace. Since these aircraft were equipped in accordance with Finnish laws and requirements to be able to fly in Finnish airspace only. Thus without the required modifications these helicopters would not fit the operational requirements of the HDF support and logistic system. I am going to introduce all the modifications and developments of avionic systems already mounted and integrated into the onboard systems of the helicopters. Also I wish to detail the modernization tasks performed by the HDF ARP and required by the end users, namely the Hungarian Air Force and Land Forces. The two transport helicopters have successfully passed the test flights and became airworthy.*

## I. BEVEZETÉS

A Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem fő feladatai közé tartozik a Magyar Honvédségben rendszeresített légijárművek rendszereinek fejlesztése, a repülőtechnika felhasználhatóságának és a repülés biztonságának növelése. A Finnországtól kapott Mi-8T típusú szállítóhelikopterek nem illeszkedtek a Magyar Honvédség kiképzési, kiszolgáló és ellátó rendszerébe. Az átalakításokat hosszadalmas szakmai és jogi egyeztetések, megbeszélések előzték meg. Mivel ezek a helikopterek a finn elvárásoknak megfelelően kerültek kialakításra, ami nem mindenben egyezik a magyar előírásokkal, így a szükséges változtatások nélkül Magyarországon nem repülhetnek. Igaz a Mi-8 és Mi-17-es szállítóhelikopterek több évtizede rendszeresített haditechnikai eszközök a Magyar Honvédségben, de az évek során, számos nagyjavításon és korszerűsítésen estek át. A Magyar Honvédség NATO<sup>3</sup> tagsága óta korszerűsítési programok folynak, melyek elsődlegesen a fedélzeti rádiókommunikációs berendezéseket érinti. Ezen fejlesztések a felhasználó igényeinek, és a NATO előírások figyelembe vételével

<sup>1</sup> okleveles mérnök ezredes, MH. Légijármű Javítóüzem, parancsnok, bozoki@fibermail.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

<sup>3</sup> NATO - North Atlantic Treaty Organisation



lettek végrehajtva. Természetesen az elvárásoknak lefektetett paramétereknek, jogszabályoknak, több gyártó által készített berendezés is megfelel. Mindezeknek következtében kicsi a valószínűsége, hogy ugyanazt a fejlesztési utat választja két ország. Aminek eredményeképpen más típusú, szériájú berendezések látják el ugyanazon feladatokat a repülőeszközök fedélzetén. Ugyanakkor, a fejlesztések irányát meghatározza, az adott ország hadsereg sajátossága is pl. szárazföldi, légi, haditengerészeti, katasztrófavédelmi rendszerek feladatai lehetőségei. A berendezések üzemeltetéséhez, kiszolgálásához szükséges dokumentációk egységessége biztosítja a kiképzési rendszer folyamatos működését. A fedélzetre épített berendezések (rádiókommunikációs, navigációs) üzemeltetéséhez elengedhetetlen az alkatrészek utánpótlása és az esetleges szoftverfrissítések, melyeknek az adott ellátási rendszerben illeszkedniük kell. Nem feledkezhetünk meg arról a kötelezettségünkről, sem amely a rádiókommunikációs berendezések és azok üzemeltetéséhez, kiszolgálásához szükséges dokumentációk beszerzésével vállalt Magyarország és természetesen bármely ország, amelyik hadseregében hasonló berendezéseket üzemeltetnek, hogy más ország részére nem szolgáltatatható ki. Köztudott hogy adott gyártó a termékéről nagyon sok információt közöl nyílt fórumokon, melyek bárki részére hozzáférhetőek. Az információból akkor lesz védett adat, ha megállapodás születik konkrét eljárásokról, üzemmódokról kidolgozott technológiai eljárásokról a két szerződött fél között.

## II. A HELIKOPTEREK FEDÉLZETÉRE BEÉPÍTETT RÁDIÓTECHNIKAI BERENDEZÉSEK

- 2 készlet AN/ARC-210 (RT1851A) védett módú harcászati fedélzeti rádióállomás;
- APX-100 típusú transzponder;
- SZIROM digitális fedélzeti adatrögzítő;
- Motorola M-LMG2 típusú Egységes Digitális Rádió (EDR) készülék.

## III. AN/ARC-210 VÉDETT MÓDÚ HARCÁSZATI FEDÉLZETI RÁDIÓÁLLOMÁS

A fent nevezett készülékcsalád fontos szerepet tölt be az USA<sup>4</sup> haderőinél, a szárazföldi csapatok, a haditengerészet és a légiereő összhaderőnemi harcászati rádiórendszerének (JTRS<sup>5</sup>), híradásának kialakításában. A készülékcsalád alkalmazása a NATO-n belül is egyre jobban terjed. [6]

Az AN/ARC-210 rádiócsalád készülékeinek mindegyike alkalmas (AM<sup>6</sup>/NBFM<sup>7</sup>) fónia üzemmódra (frekvencia tartománytól függően), adatátvitelre, adat-átjátszásra. Mivel széles frekvencia tartományban üzemelnek, így önmagukban is alkalmasak a repülésirányítással és a szárazföldi csapatokkal történő együttműködésre. A család minden tagjára jellemző, hogy a normál – szabványos – modulációs eljárásokon túl alkalmasak a NATO híradásában is fontos

<sup>4</sup> USA - United States of America

<sup>5</sup> JTRS - Joint Tactical Radio System

<sup>6</sup> AM - Amplitude Modulation

<sup>7</sup> NBFM - Narrow Band Frequency Modulation



szerepet játszó – az elektronikai zavarvédelemet javító – 225÷400 MHz tartományban használható Have Quick I/II, illetve a 30÷88 MHz tartományban alkalmazott SINCGARS<sup>8</sup>-V hullámforma alkalmazására is. A készülékek megbízhatósága az alkalmazott technológiának köszönhetően –a bonyolultságot is figyelembe véve– állandóan javuló tendenciát mutat. A készülékek alkalmasak a nyugati repülőtechnikákra alkalmazott 'MIL-STD-1553B' adatbusz rendszer használatára. Ezen kívül rendelkeznek autonóm – kétirányú soros kapcsolattal kommunikáló – kezelőegységgel is. A kezelőegységet megvilágítása, kijelzőjének színe alkalmasá teszi éjszakai látóképességgel rendelkező fedélzeten történő használatra is. [1]

Az előkészítés keretében a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem szakemberei a konfiguráció pontosítása érdekében még 2008-ban sort kerítettek a SATURN<sup>9</sup>/SATCOM<sup>10</sup> műholdas összeköttetés ellenőrzésére, működő helikopter forgószárnya alatt/mellett, az AN/PRC-117F típusú mobil rádióállomás segítségével. Az ellenőrzés során az összeköttetés megfelelőnek bizonyult, így megállapításra került, hogy a fedélzeti rádióállomás teljes VHF<sup>11</sup>/UHF<sup>12</sup>/SATCOM konfigurációjának beépítését műszaki okok nem korlátozzák. A gyártó a Magyar Honvédségnek átadta a beépítés megtervezéséhez szükséges részletes műszaki, üzemeltetési, illetve a kiképzést is segítő dokumentációkat. A rádióállomások beépítését követően minden esetben végrehajtásra kerül a kompromittáló kisugárzás ellenőrzésére hivatott TEMPEST<sup>13</sup> (Transmitted Electro-Magnetic Pulse/Energy Standards & Testing) teszt. A mérések eredményének kiértékelését követően kerül átadásra a repülőtechnika az üzembentartó alakulatnak.[5]

### III. 1. Az AN/ARC-210 rádiócsalád általános ismertetése

A Rockwell Collins cég AN/ARC-210 rádiócsaládjának 'karrierje' az 1990-s évből kezdődött az RT-1556 készülék gyártásba vételével, rendszeresítésével. A rádióállomás kialakításának koncepciója már előre vetítette a folyamatos továbbfejlesztés lehetőségét, ezzel egy korszerű, szoftver-vezérlésű, az igényekhez könnyen adaptálható katonai/polgári készülékcsalád kialakítását. A fejlesztésekre jellemző, hogy a következő generációs – továbbfejlesztett – készülékek rendelkeznek az elődök minden képességével, amelyet újabb szolgáltatásokkal bővítenek. A 2006-ban megjelent 4. generációs RT-1851A harcászati fedélzeti rádióállomás, amely digitális, felületszerelt technológiával megvalósított moduláris felépítésű, ún. szoftver-vezérlésű rádió. A kétutas hang/adat kapcsolatot biztosít normál, titkosított, illetve zavarvédett üzemmódban LOS<sup>14</sup> vagy SATCOM, DAMA<sup>15</sup> összeköttetéssel. Az adó-vevő blokk – megfelelő engedélyek (licence) birtokában – szoftveresen alkalmassá tehető többféle üzemmódra is. (például SATURN; MIL-STD-188-183A;) 2010. évben jelent meg az 5. generációs RT-1939 típusjelzésű továbbfejlesztett változat [1][7].

<sup>8</sup> SINCGARS - SINgle Chanel Ground and Airborne Radio System (or Set)

<sup>9</sup> SATURN - Second generation Anti-jam Tactical UHF Radio for NATO

<sup>10</sup> SATCOM - Satellite Communication

<sup>11</sup> VHF - Variable Message Format

<sup>12</sup> UHF - Ultra High Frequency (225÷400 MHz)

<sup>13</sup> TEMPEST - Transmitted Electro-Magnetic Pulse/Energy Standards & Testing

<sup>14</sup> LOS - Line of Sight

<sup>15</sup> DAMA - Demand Assigned Multiple Access

Az előbbieken leírtak alapján megállapíthatom hogy a AN/ARC-210 rádiócsalád hosszú távú üzemeltetése biztosított a Magyar Honvédségben rendszeresített helikoptereken. Megfelelő engedélyek (például szoftver licencek) birtokában a védett üzemmódok kihasználhatóak akár hadműveleti területen is a szövetséges kötelékekben. A rendszeresítés során elkészített földi és légi üzemeltetési és üzemeltetési utasítások a kiszolgáló személyzet rendelkezésére állnak.

## IV. APX-100 fedélzeti válaszadó berendezés

A Magyar Köztársaság légtérében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól szóló 14/2000 (XI. 14.) rendelet meghatározza, hogy csak olyan légi jármű hajthat végre repülést, amely rendelkezik A/C módú 4096 kód előállítására alkalmas fedélzeti válaszadó (transzponder) berendezéssel.

### IV. 1. Az IFF-M4 rendszer főbb jellemzői

Az APX100 (RT1157B) fedélzeti transzponder kettős rendeltetésű fedélzeti aktív válaszadó berendezés, melynek feladata egyrészt alapvető repülési adatok biztosítása:

- a polgári légiforgalmi irányítás részére az Repülésirányító Radar Rendszerben [M3/A, MC];
- a katonai Légiforgalmi Irányító Ellenőrző (ATC<sup>16</sup>) rendszer részére [M1, M2, M3/A, MC] így lehetővé téve a közös (nem elkülönített) biztonságos légtérhasználatot, a hazai és nemzetközi légi forgalomban a katonai repülőeszközök részére is. Ezek az alapvető szolgáltatások biztosítják egy adott légtérben a repülőeszközök csoportos illetve egyedi azonosítását, a repülőeszközök abszolút nyomás alapján mért repülési magasságának egyedi közlését a szekunder lokátorok felé. A transzpondernek ehhez külső eszközzel kell biztosítani a repülési magasság megfelelő pontosságú mérését, illetve szabványos kódolását (Magasság enkóder – D120-P2-T). Az APX100 transzponder ezeket az információkat az ICAO<sup>17</sup> szabványban rögzített frekvencián és kódolással közli az őt lekérdező radarral. A lekérdezés – az oldalsziromból történő válaszadás elnyomását biztosító impulzussal együtt – 3 impulzusból áll. Az első és a harmadik impulzusok közötti idő határozza meg, hogy a lekérdezés mely üzemmódra vonatkozik. Ha a fedélzeten az adott üzemmód engedélyezve van, az interrogátor a megfelelő válaszhoz juthat. A válasz két állandó távolságra lévő (20,3µs) keretimpulzus illetve az együttműködés tartalmának megfelelő maximum 12 információs impulzus. Az impulzusok távolsága az üzemmódtól függetlenül 1,45µs illetve ennek egészszámú többszöröse. Úgy a kérdés, mint a válaszadás kódolása időben állandó! Ez igaz az M1, M2 katonai azonosító üzemmódra is, ezért ezek az üzemmódok így felismerésre NEM csak azonosításra használhatók. Az M3/A üzemmód a repülőgép-vezető által bármikor beállítható azonosító szám beállítását teszi lehetővé úgy a civil, mint a katonai interrogátorok felé. Az MC üzemmód az M3/A üzemmóddal együtt lehetővé teszi a magassági adat közlését. Az M1 katonai azonosító üzemmód csak katonai eszközök részére 1 a 32-ből egyedi, a repülőgép-vezető által bármikor beállítható azonosító

<sup>16</sup> ATC - Air Traffic Control

<sup>17</sup> ICAO - International Civil Aviation Organization (Nemzetközi Polgári Légiközlekedési Szervezet)

szám beállítását biztosítja. Az M2 katonai azonosító üzemmód csak katonai eszközök részére biztosít 1 a 4096-ból csoportos, csak felszállás előtt beállítható (berendezés előlapján található) azonosító számot. M3/A üzemmódban az ICAO szabvány szerinti VÉSZ jelzés is közölhető, a kezelőpulton bekapcsolva (EMERGENCY). Lehetőség van külső kérés alapján a „IDENT” visszatérő kapcsolóval egyedi jelölésre, azonosításra is 12-15 sec időtartamig. Másrészt a fedélzeti transzponder alkalmas az M-4 katonai felismerő üzemmódra. Ez az üzemmód külső kiegészítő egység (KIT-1C crypto-computer) alkalmazásával védett üzemmódú, rejtjelezett katonai felismerést biztosít. Az alkalmazott rejtjelezési algoritmus alapján akár nemzeti, akár koalíciós (NATO) felismerés is biztosítható, tehát a berendezéseknek szorosan illeszkednie kell a Magyar Honvédség hír és informatikai rendszerébe. [4]

Az előbbieken leírtak alapján megállapíthatom, hogy az APX100 (RT1157B) fedélzeti transzponder kettős rendeltetésű fedélzeti aktív válaszadó berendezés hosszú távú üzemeltetése biztosított a Magyar Honvédségben rendszeresített helikoptereken. A rendszeresítés során elkészített földi és légi üzemeltetési és üzembentartási utasítások a kiszolgáló személyzet rendelkezésére állnak. A berendezés alkatrészellátása a Magyar Honvédség logisztikai rendszerében biztosított.

## V. SZIROM FEDÉLZETI ADATRÖGZÍTŐ RENDSZER

### V. 1. SZIROM rendszer rendeltetése

Az AVIATRONIK Kft. által fejlesztett és gyártott Számítógépes Integrált Repülési Paramétereket Rögzítő és Kiértékelő Objektív Mérőrendszer (SZIROM) rendeltetése: a helikopterek különböző repülési- és hajtómű paramétereinek, illetve a fedélzeten történt egyszeri események rögzítése, az adatok megőrzése mechanikai behatások, például vízbeesés vagy tűz esetén, valamint a repülést követően ezen adatok számítógépes feldolgozása. A rendszer a következőket biztosítja:

- 12 analóg paraméter és 12 egyszeri parancs rögzítését a helikopter fedélzetén kb. 3 és fél órás időtartamban;
- a repülési paraméterek gyorskiértékelését és az értékelés eredményének rendszerezett kijelzését;
- a rögzített adatok grafikus megjelenítését a számítógép monitorán;
- az analóg paraméterek számértékének kijelzését a kurzor helyzete által meghatározott repülési időpillanatra vonatkozóan;
- a grafikusan megjelenített görbék tetszőleges mértékű nagyítását vagy összenyomását az értékelés megkönnyítése érdekében;
- az egyes paraméterek görbéin a minimum és maximum pontok megkeresését és azok számértékének kijelzését;
- nyomtatott jegyzőkönyv készítését;
- az adatok archiválását. [4]

### V. 2. A SZIROM rendszer működése

A helikopter repülése közben rögzítésre kerülő paramétereket az illesztő-átalakító egységben

előállított stabilizált feszültséggel táplált adók érzékelik. Az adók által kidolgozott és a mérendő fizikai mennyiséggel arányos villamos jelek az illesztő-átalakító egység bemenetére kerülnek. Az illesztő-átalakító egység az adóktól beérkező jeleket megfelelő szűrés után digitalizálja, majd az adatgyűjtő egység felé továbbítja. Az adatgyűjtő egység fogadja az illesztő-átalakító által előre feldolgozott jeleket. Ebben az egységben helyezkedik el a fedélzeti alrendszer fő mikroprocesszora, amely a teljes adatgyűjtési és kódolási folyamatot vezérli, fixen tárolt program alapján. Az analóg jeleket szolgáltató adók digitalizált jeleit a mikroprocesszor a szükséges mintavételezési gyakoriságnak megfelelően integrálja. Ezáltal biztosítja, hogy a rendszer a mintavételek között eltelt időtartam alatti jelátlagokat rögzíti. Az egyszerű parancs jeleket a mikroprocesszor analizálja, így lehetővé válik az esetleges zavarjelek kiszűrése. A kódolás során a mikroprocesszor a mért adatokból blokkokat képez, az adatokat megfelelő blokkválasztó jelekkel látja el, továbbá az adatátvitel és tárolás hibátlanságának ellenőrzésére paritásbiteket generál. A bekapcsolást követően speciális adatblokkokat állít elő, amely a kiértékeléshez szükséges adatokat tartalmazza (a repülőgép oldalszáma, típusa és egyéb jellemzők). Az adatgyűjtő egységben előállított adatblokkok a memória-kazettába kerülnek, itt található az adatrögzítéshez szükséges félvezető memória-áramkörök (CMOS-RAM). Repülő esemény vagy a villamos táplálás megszűnése esetén a rögzített információ nem vesz el, mivel a kazetta kisméretű Ni-Cd akkumulátorral van ellátva, amely gondoskodik a memória-kazetta táplálásáról. Az adatgyűjtés, illetve beolvasás közben a kazettába épített töltőáramkör tölti az akkumulátort. A repülési feladat végrehajtása után a memória-kazettát le kell választani az adatgyűjtő egységről, és át kell adni az objektív kontroll szolgálatnak, ahol a földi alrendszer telepítve van. Itt a kazettát a beolvasó talpra kell felerősíteni. A beolvasó talp a számítógéphez csatlakozik, a benne elhelyezett illesztőkártyán keresztül. A memória-kazetta csatlakoztatása és a számítógép billentyűzetén keresztül adott utasítást követően a számítógép lekérdezi az adattároló kazetta memóriájában rögzített adatokat, majd azokat saját memóriájában tárolja. A beolvasás során ellenőrzi az adatblokkok kezdetét és végét jelző jelkombinációkat, valamint a paritásbiteket. Hiba esetén megkísérli a hibátlan blokkok azonosítását. A további jelfeldolgozási idő csökkentése és a tárolt adatmennyiség csökkentése céljából a számítógép lerövidíti az adatmennyiséget a feltétlenül szükséges mennyiségre. A beolvasást követően a számítógép törli a memória-kazetta tartalmát. Ezután a kazettát le lehet választani a kiolvasó talpról, majd vissza lehet küldeni ismételt felhasználásra. A repülési paraméterek átvitele a számítógépbe 30 másodpercen belül elvégezhető. A repülési feladat végrehajtása után a memória-kazettát le kell választani az adatgyűjtő egységről, és át kell adni az objektív kontroll szolgálatnak, ahol a földi alrendszer telepítve van. Itt a kazettát a beolvasó talpra kell felerősíteni. A beolvasó talp a számítógéphez csatlakozik, a benne elhelyezett illesztőkártyán keresztül. A memória-kazetta csatlakoztatása és a számítógép billentyűzetén keresztül adott utasítást követően a számítógép lekérdezi az adattároló kazetta memóriájában rögzített adatokat, majd azokat saját memóriájában tárolja. A beolvasás során ellenőrzi az adatblokkok kezdetét és végét jelző jelkombinációkat, valamint a paritásbiteket. Hiba esetén megkísérli a hibátlan blokkok azonosítását. A további jelfeldolgozási idő csökkentése és a tárolt adatmennyiség csökkentése céljából a számítógép lerövidíti az adatmennyiséget a feltétlenül szükséges mennyiségre. A beolvasást követően a számítógép törli a memória-kazetta tartalmát. Ezután a kazettát le lehet választani a kiolvasó talpról, majd vissza lehet küldeni ismételt felhasználásra. A repülési paraméterek átvitele a számítógépbe 30 másodpercen belül elvégezhető. Az adatok átírását követően a számítógép azonnal megkezdi a repülési paraméterek gyorskiér-

tékelését, a repülés folyamán bekövetkezett durva repüléstechnikai, illetve műszaki hibák automatikus feltárása érdekében. A gyorskiértékelő program ellenőrzi, hogy a rögzített paraméterek megfelelnek-e az előre megadott peremfeltételeknek, valamint megvizsgálja egyes egyszeri parancsok meglétét, vagy hiányát. A gyorskiértékelés befejezése után az „Eltérés nincs”, vagy „Eltérés Van” üzenet jelenik meg a képernyőn. Az automatikusan elkészülő jegyzőkönyv tartalmazza a paraméterek megnevezését, az eltérés időpontjait és időtartamát. A jegyzőkönyv rögzíti a repülés legfontosabb szolgálati adatait is: a helikopter oldalszámát, a repülés naptári idejét, az adatgyűjtő működési időtartamát, a felszállás időpontját és sorszámát, a helikopter-vezető (gépparancsnok) nevét, a végrehajtott gyakorlatok azonosító számait. Rögzítésre kerül egyes paraméterek repülés közben fellépő maximális, minimális, vagy mindkét értéke. A gyorskiértékelő program eredményén kívül a jegyzőkönyvben megtalálhatók az adott repülésre vonatkozó különböző üzemidők (sárkány, hajtómű) is. A jegyzőkönyvről nyomtatóval másolat készíthető. A klaviatúrán keresztül megadott utasításra grafikus formában megjelennek a számítógép színes képernyőjén az analóg paraméterek jól elkülöníthető színes jelleggöbői és az egyszeri parancsok vonalas ábrázolásban. A grafikus megjelenítéssel párhuzamosan kijelzi a rendszer az egyes paraméterek értékeit, fizikai mértékegységben a kurzor helyzete által meghatározott repülési időpontban, az egyes mérőadók hitelesítési görbéinek figyelembevételével. Ehhez a helikopterbe beszerelt mérőadók hitelesítési görbéi a számítógépben tárolva vannak. Az analóg paraméterek görbéinek részletesebb elemzése céljából lehetőség van a görbék széthúzására, illetve összenyomására. A görbéket együttesen lehet vizsgálni, vagy megfelelő csoportosításban, vagy csak egy görbét kiemelve. A későbbi feldolgozás, valamint ellenőrzés céljából a rögzített repülési adatokat archiválni kell. Ez történhet mágneslemezen, vagy optikai adattárolón. Az üzemidők (sárkány, hajtómű, stb.) összegzése a mágneslemezeken tárolt adatok összegzése útján történik tetszőleges időtartamra (napi, heti, havi, évi, illetve teljes élettartamra).[4]

A hazai fejlesztésű SZIROM digitális fedélzeti adatrögzítő rendszer korábban nem volt beépítve a finn légierőnél repülő gépekbe, viszont Magyar Honvédségnél rendszeresített ezért kötelező berendezés természetesen ezért került beépítésre a „finn” helikopterekbe is.

## VI. MOTOROLA M-LMG (EDR) KÉSZÜLÉK HELIKOPTER FEDÉLZETRE TÖRTÉNŐ BEÉPÍTÉSE

A Magyar Honvédség katasztrófavédelmi, valamint légi kutató-mentő feladatainak ellátása során, a polgári szervekkel történő közvetlen, zavartalan kapcsolattartás elengedhetetlen. Az érintett szervekkel biztosítja a hatékony kapcsolattartást a Mi-17P, illetve Mi-8T típusú helikopterekbe beépített Motorola M-LMG típusú, GPS vevővel rendelkező EDR (Egységes Digitális Rádió) készülék. A kivitelezés során alapvető cél a szállító helikopterek egységes kialakítása volt.

### VI. 1. EDR készülék szolgáltatásai:

1. Beszéd jellegű szolgáltatások:

- Csoporthívás;
- egyéni hívás;
- körözhívás;

- telefonhívás;
- vészhívás;
- közvetlen mód (pont-pont közötti kapcsolat).

#### 2. Adat átviteli szolgáltatások:

- SDS (160 karakter hosszú szabad üzenet);
- státusz üzenetek (előre definiált üzenetek);
- rövid adatüzenetek (lekérdezések,);
- IP alapú csomagkapcsolt adatátvitel.

#### 3. Helymeghatározás

#### 4. Alacsonyan szálló repülőeszközökkel történő forgalmazás [2]

### VI. 2. Elvárások EDR készülékkel szemben a helikopterfedélzetén

- Az EDR készülék –a fedélzeti rádióállomásokhoz hasonlóan– a fedélzeti telefon rendszeren keresztül történő kiválasztást követően legyen elérhető az első és második helikopter-vezető számára.
- A fedélzeti telefon rendszer átalakításával a fedélzeti technikus, a teherterben tevékenykedő szakszemélyzet legyen képes az EDR készülékkel adni, valamint az azon érkező adást fogadni.
- A hajózó személyzet számára kerüljön kijelzésre (fényjelzéssel) az EDR készüléken érkező vétel.
- Legyen lehetőség egyidejű lehallgatásra – az aktuális kiválasztástól függetlenül– a teljes személyzet részére. [2]

Az előbbieken leírtak alapján megállapíthatom, hogy Motorola M-LMG típusú, GPS vevővel rendelkező EDR (Egységes Digitális Rádió) készülék beépítéséhez a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem saját fejlesztésű illesztőegységei elengedhetetlenek. Hasonló típusú esetleg más gyártó által forgalmazott berendezések esetén nem biztosítható az egységes kialakítás, kiszolgálás.[3] Ezen kommunikációs rendszer van rendszeresítve Magyarországon így a Magyar Honvédségben is ezért a „finn” helikopterekbe is be lett építve.

## ÖSSZEGRZÉS

A Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem szakemberei több évtized óta végeznek avionikai fejlesztéseket a Magyar Honvédségben rendszeresített repülőeszközökön. Az Üzem több évtizedes szakmai tapasztalat eredményeként a Magyar hadiipar egyetlen képviselője, aki haditechnikai eszközökön (elsősorban légijárműveken) korszerűsítési, üzemidő hosszabbítási feladatokat (a tervezési, technológizálási, fejlesztési feladatoktól a megvalósításig) képes végrehajtani.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Re/190 Az APX-100 (V) típusú transzponder műszaki leírása és üzemeltetési szakutasítása; 2000  
[2] GULYÁS LÁSZLÓ - ZUPKÓ TIBOR: A Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzemben végrehajtott szállító helikopter-korszerűsítések [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Gulyas\\_Laszlo-](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Gulyas_Laszlo-)

- 
- Zupko\_Tibor.pdf (2012-04-11)
- [3] LAVATI ZOLTÁN MK. ALEZREDES - GUNTHER FERENC SZÁZADOS - GULYÁS LÁSZLÓ HAD-NAGY - ACSAI PÁL KA. - GYENES GÁBOR MK SZÁZADOS: Évezred eleji feljesztések a MH Légijármű Javitóüzemben [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2004\\_cikkek/gyenes\\_gabor.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2004_cikkek/gyenes_gabor.pdf) (2012-04-11)
- [4] LAVATI ZOLTÁN MK. ALEZ. - GUNTHER FERENC ÖRGY. - GYENES GÁBOR MK. SZDS. - GULYÁS LÁSZLÓ HDGY. - ACSAI PÁL KA. - LUDVIG GYÖRGY KA.: A MH Légijármű Javitóüzem által helikoptereken végrehajtott avionikai módosítások  
[http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005\\_cikkek/lavati\\_zoltan\\_et\\_al.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/lavati_zoltan_et_al.pdf) (2012-04-11)
- [5] AZ ARC-210 (RT1851A) védett módú harcászati fedélzeti rádióállomás beépítésének gyakorlati kérdései MI-17 Típusú helikopteren MH Lé.Jü TANULMÁNY
- [6] The Market for U.S. Military Airborne Communications Systems  
[http://www.forecastinternational.com/samples/F632\\_CompleteSample.pdf](http://www.forecastinternational.com/samples/F632_CompleteSample.pdf) (2012-04-11)
- [7] Jane's Military Communications AN/ARC-210(V) VHF/UHF AM/FM transceiver  
<http://articles.janes.com/articles/Janes-Military-Communications/AN-ARC-210-V-VHF-UHF-AM-FM-transceiver-United-States.html> (2012-04-11)





Jankovics István<sup>1</sup> – Nagy András<sup>2</sup>

## TANSZÉKI REPÜLÉSSZIMULÁTOR LABORATÓRIUM MODERNIZÁLÁSA<sup>3</sup>

*2000-2002 között a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszékén a Müncheni Műszaki Egyetem Repülésmechanika és Kontrol Tanszékével történt nemzetközi együttműködés keretében, a tanszék akkori oktatóinak és hallgatóinak munkájából felépült egy fix bázisú oktatási, kutatási és bemutató célú szimulátor. 2010-ben hallgatók bevonásával egy nagyszabású fejlesztés kezdődött meg a szimulátorban, melynek eredményeként teljesen új hardver és szoftver rendszer került kifejlesztésre. A cikk ebbe a munkába nyújt betekintést, és részletesen ismerteti a szimulátorban alkalmazott új megoldásokat, a használható új funkciókat és oktatási képességeket.*

### **MODERNIZATION OF THE FLIGHT SIMULATOR LABORATORY**

*Between 2000 and 2002, the staff and the students of the Department of Aircraft and Ships at Budapest University of Technology and Economics, in international cooperation with Technical University of Munich's, Department of Flight Mechanics and Flight Control, built a low-cost, fixed-base flight simulator for educational, demonstration and research purposes. In 2010, together with BSc and MSc students, a large-scale modernization was started in the simulator. A completely new hardware and software system was developed. This paper describes the work, gives details of the applied devices, new features and educational capabilities.*

## BEVEZETÉS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszékén 2002-ben a Müncheni Műszaki Egyetem Repülésmechanika és Kontrol Tanszékével történt együttműködés keretében épült egy fix bázisú, oktatási, bemutatói valamint kutatási célú repülés szimulátor. Oktatási, bemutatói felhasználása során a hallgatók betekintést nyerhetnek a pilóták munkájába, megfigyelhetik és megtapasztalhatják a repülőgép irányítása során jelentkező feladatokat, azok megoldásait. A szimulátor segítségével interaktívan tanulhatják a „nagygépes” repülés egy jellegzetes modern repülőgépeinek komplex avionikai rendszereit, valamint az IFR és a VFR repülések végrehajtásához szükséges berendezéseit és az ilyenkor alkalmazandó eljárásokat. Így egy repülőmérnöktől elvárható általános tudáshalmazt tudunk átadni a hallgatóknak, tisztában lesznek a pilóták munkájával és a repülőgép-pilóta kapcsolat minőségének fontosságával. Kutatási célú felhasználása során pedig alkalmas saját készítésű repülésmechanikai modellek vizsgálatára, robotpilóta rendszerek tervezésére, működésének kipróbálására, valamint alkalmas a pilóta-gép kapcsolat vizsgálatára.

Az építést követően (egészen 2010-ig) a szimulátor alapfunkcióit ellátó hardvereken és szoftvereken nem történt nagyszabású, jelentős fejlesztés, csupán szinten tartás. A használt hardve-

<sup>1</sup> BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, ijankovics@rht.bme.hu

<sup>2</sup> BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, nagy@rht.bme.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

rek és szoftverek lassan elöregedtek, elavultak, a szimulátor alkalmatlanná vált a további oktatási és kutatási célú felhasználásra. 2010 decemberében, a HungaroControl Zrt., és a Budapest Airport Zrt. támogatásával, Baburin Róbert Bsc és Szabó András Msc hallgatók bevonásával, egy nagyszabású felújítás/fejlesztés kezdődött, melynek célja az volt, hogy a szimulátor korábbi képességeinek megőrzése mellett új funkciókkal, képességekkel ruházzuk fel azt. A modernizálás mind hardveres, mind pedig szoftveres területet érintett. Hardveres területen a fejlesztés egyfelől a szimulátort működtető számítógépeket, másfelől a szimulátor pilótafülke kijelző és beviteli egységeinek elektronikáját érintette. A régi, már megbízhatatlanul működő rendszer helyett a tanszék elektronikai laboratóriumában egy olyan új, modul rendszerű hardverkörnyezet került kifejlesztésre és megépítésre, amiben az egyes modulok CAN busz technológia felhasználásával kommunikálnak egymással. Szoftveres téren is új programok kerültek felhasználásra, valamint kifejlesztésre (pl. komplex adatgyűjtő, kiértékelő rendszer, repülési pálya vizualizáció, adatkapcsolat külső navigációs rendszerekkel, stb.).

Jelen cikk a szimulátoron az utóbbi két évben végrehajtott, valamint jelenleg is folyamatban lévő fejlesztésekbe nyújt betekintést, melynek során részletesen ismerteti a PC-k és a pilótafülke kijelző és beviteli egységeinek hardver és szoftver összeállítását, valamint a pilótafülke és a szimulációs szoftver között alkalmazott kommunikációs protokollokat. Továbbá leírásra kerülnek a szimulátor jelenlegi, modernizált állapotában használható funkciói és oktatási-kutatási képességei.

## A SZIMULÁTOR ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE

A szimulátor, felépítését tekintve a fix bázisú szimulátorok közé sorolható. Az építmény vázát egy 20x20-as zártszelvényekből hegesztett, illetve csavarozott keret szolgáltatja (1. ábra). Erre a keretre van felépítve a fából épített műszerfal, az oldalfalak, a középső konzol, valamint egy Boeing 737-200 típusú repülőgépből kiszerezelt gázkarpult. A pilótafülke méreteit és elrendezését tekintve egy modern Boeing 737NG mintájára van kialakítva, bár méretét tekintve a valós méretektől ~20%-kal nagyobb.

A kormányzerveket és azok elrendezését tekintve a szimulátor bal oldalán a Boeignél ma is előszeretettel alkalmazott, szarvkormányos elrendezés található, míg a jobb oldalon az Airbus filozófiáját követve egy sidestick került elhelyezésre. Ezt a sajátosságot kivéve a többi kormány szerv a repülőgép pilótafülke építésben megszokott módon került kialakításra. A pilóták lábánál található az oldalkormány mozgatására szolgáló lábpedál, a főfutók külön-külön fékezésére is alkalmas fékpedálokkal együtt. Valamint a két ülés között a gázkarpult, rajta a két reverz állással is rendelkező gázkarral, a fékszárnyak mozgatását biztosító kar, valamint az áramlásrontó lapok mozgatására szolgáló speed brake karral.



1. ábra balra: a szimulátor, még építés közben, jobbra: az elkészült szimulátor [1]

A műszerek megjelenítését 2 darab egyenként 17"-os, 1024\*768 felbontású LCD monitor, valamint 2 darab egyenként 12,1"-os, 800\*600-as felbontású Elo Touchscreen érintőképernyős LCD monitor végzi. A két, nagyobb méretű kijelző került két oldalra a pilóták elé, melyet a műszerfal borításának kialakítása oszt fel a „nagyépes” repülésben megszokott PFD<sup>4</sup>, ND<sup>5</sup> kijelzőkre. A két kisebb kijelző közül az egyik a műszerfal közepén van elhelyezve és az UPPER EICAS<sup>6</sup>, míg a másik a középső konzolon került elhelyezésre, és a pilótafülkében megszokott LOWER EICAS kijelzők feladatait látják el. A középső konzol bal oldalán került elhelyezésre egy saját szerelésű, CRT képernyővel rendelkező, Boeing 747 stílusú CDU<sup>7</sup> is, mely a repülési útvonalak és paraméterek bevitelére szolgált.

A műszerfal felső részén található MCP<sup>8</sup>, és két EFIS<sup>9</sup> Control Panel, valamint a Pedestalon található 1 db navigációs rádió kapcsolói, tekerői, továbbá a kormánysszervek EPIC<sup>10</sup> kártyán keresztül kommunikáltak a szimulátort kiszolgáló számítógépekkel.

A megjelenítést egy a pilótafülke felett elhelyezett 1024\*768-as felbontású projektor látta el, mely egy ~400 mm átmérőjű domború tükör közbeiktatásával vetítette a szimulátor képét a pilótafülke előtt ~2 méterre elhelyezett, 3\*2 méteres homorú felületű, kerekeken mozgatható vetítővászonra.

A szimulátor oktatási és bemutató célú alap funkcióinak működéséért 6 darab, hálózatba kötött, a 2002-es építés idején még felsőkategóriás PC volt felelős. Az alapfunkciók ellátásáért felelős 6 darab PC-ből, egy számítógépen futott maga a szimulátor, 1-1 számítógép jelenítette meg a két pilóta előtti PFD/ND képernyők tartalmát. 1 számítógép az EICAS megjelenítését végezte, 1 pedig a szerver szerepét töltötte be. Ezek a gépek Windows 2000 operációs rendszerrel rendelkeztek. A 6. számítógép pedig CDU működését látta el, ezen a gépen Windows 98-as rendszer futott.

Az alapfunkciók ellátásához a következő szoftverek kerültek alkalmazásra:

<sup>4</sup> PFD: Primary Flight Display

<sup>5</sup> ND: Navigation Display

<sup>6</sup> EICAS: Engine-Indicating and Crew-Alerting System

<sup>7</sup> CDU: Control Display Unit

<sup>8</sup> MCP: Mode Control Panel

<sup>9</sup> EFIS: Electronic Flight Instrument System

<sup>10</sup> EPIC: Electronic Programable Interface Card

- Microsoft Flight Simulator 2002 valamint 2004-es verziója, kiegészítőkkal.
- FSUIPC, WideFS [2] programok. Ezen programok segítségével képes hálózaton keresztül kommunikálni a Flight Simulator a szimulátort működtető egyéb programokkal.
- EPIC driver, ez a program biztosította a kapcsolatot a számítógépek és az EPIC kártya között.
- Project Magenta 737-es programcsomag [3], mely a repülőgép műszereinek megjelenítését, valamint a gép avionikai rendszereinek működéséért felelt.
- PM sounds program, mely a GPWS<sup>11</sup> hangjelzéseit szolgáltatja.

Kutatási célú felhasználás esetén a rendszer alapfunkcióit ellátó számítógépeken kívül a hálózatba köthetők további számítógépek is, melyeken futtathatók pl. MATLAB Simulink, FlightGear, FLSIM, VASP szoftverek is, a kutatási feladat jellegétől függően.

Ahogy az a bevezetőben is olvasható volt, az építést követő években jelentősebb fejlesztés nem történt az alapfunkciókat ellátó rendszerben (pl. a kivetítő projektor cseréje), csupán szinten tartó átalakítások, fejlesztések történtek, mellyel biztosítható volt a szimulátor működése. Ezen kívül azért olyan, a szimulátort érintő jelentős változások történtek, mint pl., hogy 2009-ben a korábbi helyről elköltöztetve egy a réginél 3-szor nagyobb helyiségbe költözött, így a szimulátor és a működést biztosító számítástechnikai rendszerek végre egy helyiségbe kerültek, könnyítve ezzel a munkát, valamint a nagyobb helynek köszönhetően a bemutatók tartása is komfortosabbá vált, mind az érdeklődők, mind pedig a demonstrátorok számára. A költözéssel egy időben átalakításra került a szimulátor formáját adó zártszelvény keret, és helyére egy kompozitból készült, a Boeing 737 típusú repülőgép orr részét imitáló héj került, ezzel elrejtve a nem túl szép szerkezetet, valamint valósabbá téve a szimulátor által nyújtott élményt.(2. ábra)



2. ábra balra: a szimulátor burkolata építés közben, jobbra: a kész burkolat az új helyen

## AZ ÚJ RENDSZER SZÜLETÉSE

A szimulátor mélyebb szintű, nagyszabású átalakítását több ok is indokolta. Az alapfunkciókért felelős számítógépek 8 éves életkora igen tekintélyesnek számított, hardvereik elavultak, az újabb technológiák, hardverek, programcsomagok futtatására már alkalmatlanok voltak. Az építés óta eltelt 8 évben egy teljes piaci szegmens épült ki a hobbi szimulátor felhasználók, és a

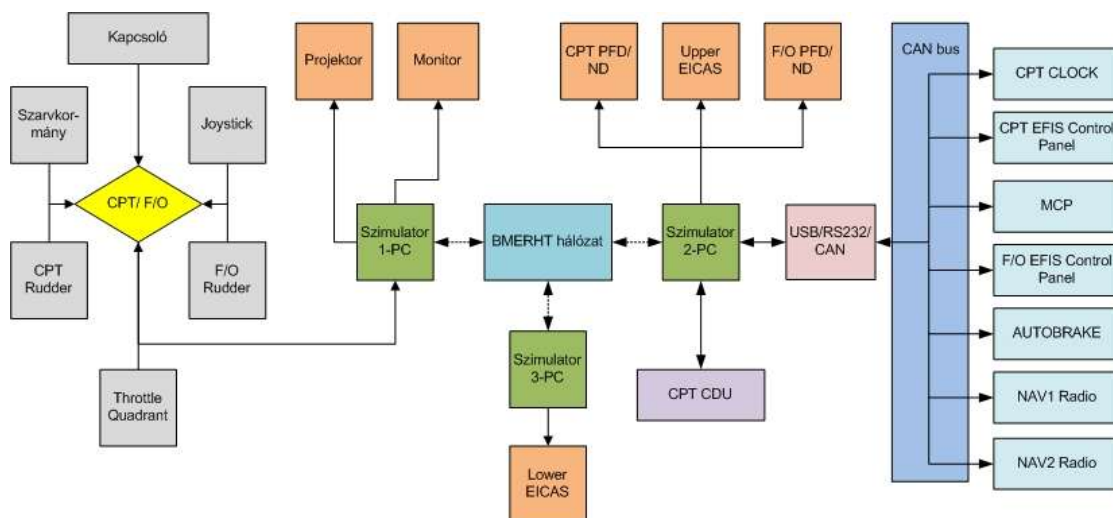
<sup>11</sup> GPWS: Ground Proximity Warning System

„homecockpit” építők igényeinek kiszolgálására, melynek eredményeként sokkal több tudásanyag, tapasztalat, és az építést segítő, önálló működésre képes olcsóbb hardver érhető el. Az átalakítást megelőző egy évben már többször is megmagyarázhatatlan lassulások, fagyások következtek be a rendszerben, ami mind az oktatást, mind a bemutató repüléseket lehetetlenné tette, így sürgössé vált a rendszer felújítása. A mára többszöröződött számítástechnikai kapacitásnak köszönhetően lehetővé vált, hogy a régivel megegyező teljesítményigényű programokat kevesebb számítógépen futtassuk, így adott esetben, megfelelő rendszerkiépítés mellett, az alapműködést ellátó számítógépek száma a korábbi 6 géphez képest kevesebb lehet.

Az átalakítást tovább nehezítette, hogy a szimulátor építésekor megvásárolt Project Magenta 737-es műszeresomaghoz, mely a pilótafülke műszereit, valamint CDU-ját jelenítette meg, továbbá biztosította a robotpilóta és egyéb funkciók működését, a gyártó már nem biztosított újabb licenst. Ezt a gyártó gyakorlatilag csak a programsomag újbóli megvételével biztosította volna, amit a kért árajánlatban adott magas, több mint, 6000€-s ár (akkori árfolyamon 1,6 millió forint) és az átalakításhoz rendelkezésre álló alacsony keret miatt elfogadhatatlannak tartottunk. Ez mindenképpen olyan új programsomag beszerzését indokolta, ami funkcióiban egyenértékű a régi rendszerrel, de mindezt alacsonyabb árfekvés mellett biztosítja. Mivel minden fellelhető program más-más elven működik, illetve kapcsolódik a hozzá kapcsolt hardverekhez, átalakításra szorult a régi EPIC kártyát használó rendszer is. Így az alaptól felépítve az új rendszert lehetőség nyílt rá, hogy egy olyan moduláris rendszert hozzunk létre, mely kis anyagi ráfordítással, a tanszéken fellelhető eszközökkel és tudással önállóan is kiépíthető, tetszőleges számú és funkciójú elemmel bővíthető, átalakítható.

Az átalakítást úgy kellett megvalósítani, hogy az az oktatást és a tervezett bemutatókat a lehető legkisebb mértékben befolyásolja. Így több hónapos kutatás, tervezgetés, és próba után, mikor a próbák azt mutatták, hogy sikerült felépíteni egy olyan rendszert mely minimális szinten, de már képes átvenni a régi szimulátor szerepét, megtörténhetett a régi rendszer szétbontása, az új rendszer beépítése, installálása, konfigurálása. Ennek köszönhetően az átállás a régi rendszerről az új rendszerre meglehetősen gyorsan, és zökkenőmentesen mindössze 2 nap alatt megvalósult.

A továbbiakban ennek az új rendszernek a felépítése és az egyes elemek, funkciók részletes ismertetése következik



3. ábra A teljes rendszer felépítése



---

## AZ ÚJ RENDSZER HARDVER KIÉPÍTÉSE

Ebben a fejezetben a kiépített alaprendszer (3. ábra) felépítésének és elemeinek részletes ismertetése következik.

### **Alkalmazott számítógépek**

A későbbiekben ismertetésre kerülő kiválasztott szoftvereknek, és a számítástechnika fejlődésének köszönhetően a régi rendszert alkotó 6 számítógép helyett az új rendszerben az alapfunkciók ellátásához mindössze 3 PC használatát tette szükségessé. Ez jelentősen leegyszerűsítette a szimulátor felépítését, valamint az egész rendszer kezelését és ellenőrzését.

Az új rendszert felépítő 3 PC az alább részletezett feladatokat látja el.

#### **szimulátor1\_pc:**

Ez a számítógép felelős a Flight Simulator futtatásáért, projektoron keresztül a táj megjelenítéséért, a hangokért, ide vannak bekötve a kormányok, a gázkar pult vezérlőelemei USB csatlakozón keresztül. A számítógéphez egy monitor és egy projektor van kötve másolt képernyő tartalommal. A számítógéphez tartozik még továbbá egy billentyűzet és egy egér. A számítógépen 64 bites Windows7 operációs rendszer került telepítésre. A számítógép az alábbi paraméterekkel rendelkezik:

CPU: Intel Core i7 920

RAM: 6 GB

Grafikus kártya: 1 db ATI Radeon HD5700 1GB

#### **szimulátor2\_pc:**

Ezen a számítógépen futnak azok a programok, melyek felelősek a pilótafülke kijelzőinek vezérléséért, kivéve a LOWER EICAS kijelzőt, a kapitány oldali CDU kezeléséért, valamint az épített hardverelemekből (MCP, EFIS Control panel, AUTOBRAKE, stb.) érkező jelek feldolgozásáért. A számítógép 2 videokártyát tartalmaz, mely 4 monitort vezérel. Ebből az 1. monitor a kapitány oldali külső és belső kijelző, a 2. az UPPER EICAS, a 3. a másodpilóta oldali külső és belső kijelző, a 4. monitor a szimulátor kezelő asztalon került elhelyezésre, ezen jelennek meg a különböző futtatandó programok, melyekről részletesebben a későbbi fejezetekben lesz szó. A képernyők kiterjesztett asztalként vannak egymás mellé helyezve. A számítógép a szimulátor orrában a burkolat alatt került elhelyezésre. A számítógépen 64 bites Windows7 operációs rendszer került telepítésre. A számítógép az alábbi paraméterekkel rendelkezik:

CPU: Intel Core2Duo E7500

RAM: 3 GB

Grafikus kártya: 2 db ASUS EAH5450 1GB, passzív hűtés

#### **szimulátor3\_pc:**

Jelenleg a feladata a LOWER EICAS kijelző vezérlése, valamint ezen a számítógépen fut a komplex adatgyűjtő rendszer. A számítógéphez egy billentyűzet, egy egér, és két érintőképernyős monitor csatlakozik, melyek közül egyik, a 15"-os méretű, a szimulátor vezérlő asztalon

kapott helyet, az operátor ezen a monitoron követheti figyelemmel az adatgyűjtő rendszer működését és a repülés egyes paramétereit. A másik, 12,1”-os pedig a pilótafülkében, a gázkar pult előtt található. Alapbeállításban ezen jelenik meg a LOWER EICAS képe. A monitorkok kiterjesztett asztalként vannak kezelve a Windows 64 bites operációs rendszerben. A szabad kapacitások miatt még további felhasználásra alkalmas a számítógép.

CPU: Intel Core2Duo E7500

RAM: 2 GB

Grafikus kártya: 1 db ASUS EAH5450 1GB, passzív hűtés

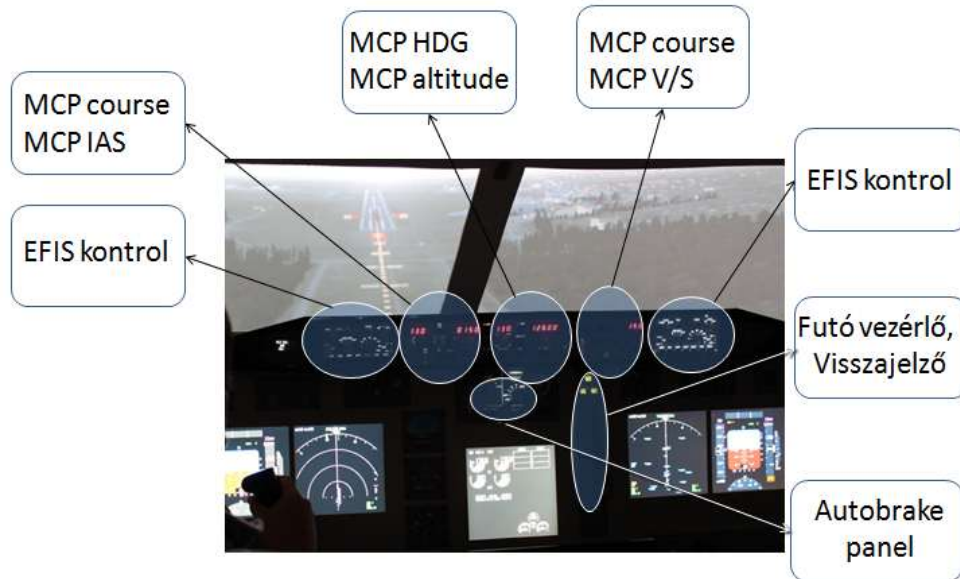


4. ábra A szimulátor kezelő munkahelye

A számítógépes rendszer az alkalmazott szoftverekkel lehetővé teszi, hogy tetszőleges számú számítógépet csatlakoztassunk az alapfunkciókat ellátó 3 számítógépből alkotott alaprendszerhez. A számítógépek csatlakoztatása Ethernet kábelen és vezeték nélküli kapcsolaton keresztül is lehetséges. Ennek biztosítására egy WiFi access pointot helyeztünk el a szimulátor laboratóriumban.

### **Mode Control Panel, EFIS Control Panel**

Ezek a panelek többállású kapcsolókat, forgó kódkapcsolókat, 7 szegmenses LED kijelzőket és nyomógombokat tartalmaznak.



5. ábra Egyes vezérlőáramkörökhöz tartozó kezelőszervek

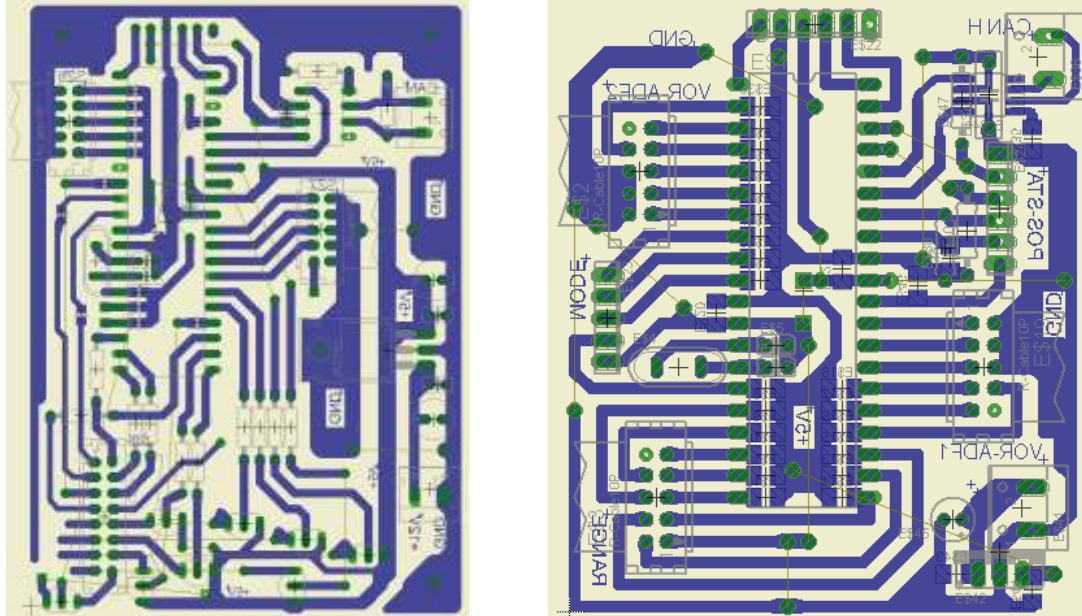
A panelek vezérlő áramköreinek feladata a kapcsolók, nyomógombok, forgó enkóderek állapotváltozásainak detektálása és a kijelzőkön a megfelelő számok megjelenítése. A kezelőszervek funkció szerint csoportosítva kerültek egy-egy áramkörhöz, ezek a csoportok láthatók az 5. ábrán. Az áramkörök tervezése és legyártása a Tanszék elektronikai laboratóriumában történt. Az egyes funkciókat megvalósító áramkörök CAN buszra kapcsolódva küldik és fogadják az adatokat. A CAN busz PC-hez történő illesztését egy külön áramkör végzi, ami a PC soros portjára kapcsolódik (3. ábra). Ezzel a modul rendszerű elrendezéssel egy könnyen bővíthető, fejleszthető rendszert kapunk, ami az oktatói-kutatói szimulátor követelményeinek teljes mértékben megfelel. Az egyes modulok (áramkörök) kivehetőek, fejleszthetőek anélkül, hogy ezzel a teljes rendszer működését befolyásolnánk. Új modulok egyszerűen hozzákapcsolhatóak egészen 127 modulig (ez a 7 bites CAN címzés korlátja), ami a jelenleg minden funkciót megvalósító 12 egység számát figyelembe véve szinte korlátlan bővítési lehetőséget kínál.



6. ábra Szimulátor orr részének elektronikai egységei

Az áramkörök a PIC 18F4580-as és PIC 18F2580-as mikrovezérlőkre épülnek, több kiegészítő IC-vel a kijelzők vezérléséhez és a kommunikációhoz. A kiegészítő vezérlő IC-k pl. a 7 szegmenses kijelző meghajtó MAX7221, vagy a CAN transceiver MCP2550. A szimulátor orr részébe épített áramkörökről készült kép a 6. ábrán látható.





7. ábra MCP IAS-ALT modul és MCP EFIS modul NYÁK terve

## Control Display Unit

Ahogy az a korábbi fejezetben ismertetésre került, a régi rendszerben használt CDU működését egy külön PC biztosította. A régi rendszer bizonytalan működése miatt a CDU használata nehézkessé, olykor lehetetlenné vált. A billentyűzete már nem működött megbízhatóan, és olykor csak jelentős késéssel jelenítette meg a bevitt adatokat. Ezért a rendszer építéskor a régi CDU nyugdíjazása és egy új CDU beszerzése mellett döntöttünk. A szimulátor hardverek piacán ma már sokféle gyártó, sokféle komplett CDU-t kínál megvételre, melyek a 10 éve kapható hardverekkel ellentétben mind kinézetben, mind méretben is sokkal jobban hasonlítanak a valós repülőgépekben alkalmazott eszközökre. Ezeket az eszközöket többnyire USB kapcsolaton keresztül lehet a számítógépre kötni, emellett saját hálózati áramforrással is rendelkeznek, így a felhasználónak erről se kell gondoskodni. A CDU működését egy külön, más gyártótól (pl. Project Magenta, Flight Deck Software, stb.) megvásárolt műszerek megjelenítését végző szoftver biztosítja. A felhasználónak csak arról kell gondoskodnia, hogy a vásárolt hardver és szoftver kompatibilis legyen egymással.

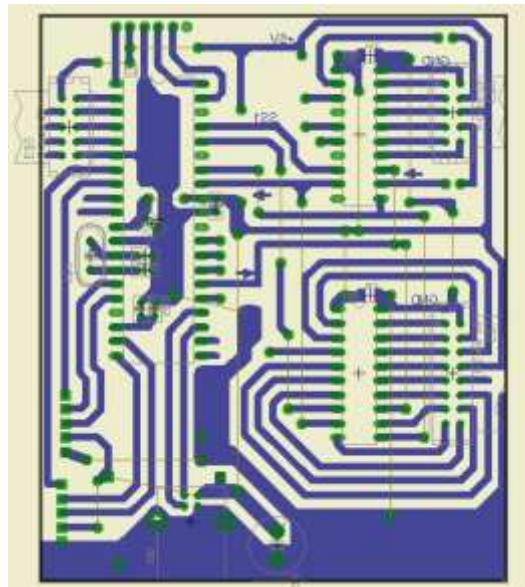
Ezeket a szempontokat figyelembe véve a FlyEngravity [8] 737NG CDU-ját választottuk, melyet a gyártó 1000€-s áron kínált. A CDU az áramforrás bekötése, a számítógéphez csatlakoztatás, és a driverek installálása után azonnal működépes. Rendelkezik saját világítással, így a sötét pilótafülkében is jól látható, és könnyen kezelhető. A magas ára miatt, jelenleg csak egy CDU beszerzése történt meg, melyet a pilótafülkében a bal oldalon a LOWER EICAS mellett helyeztünk el, ahogy az a legtöbb modern utasszállító repülőgépben is található.



8. ábra A FlyEngravity CDU

## Kormányok, gázkarpult

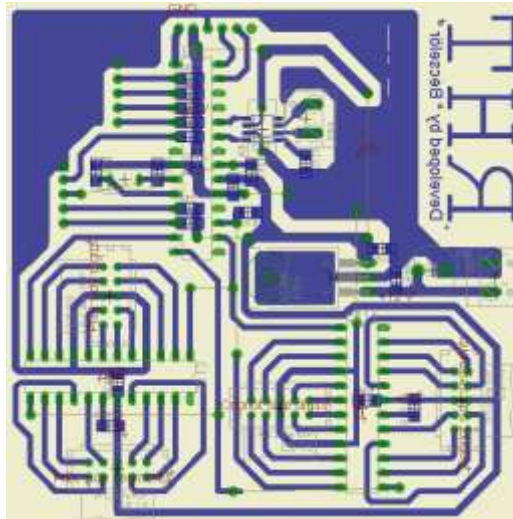
A kormányszervek, gázkarpult kezelőszervei döntően analóg tengelyekből és nyomógombokból állnak. Ezek szimulátorhoz történő csatlakoztatása USB porton keresztül történik, a táplálásáról a PC USB portja gondoskodik. Az áramkör a PC oldalról egy 8 tengelyes, 16 gombos joystickként kerül felismerésre, drivert nem igényel, mert HID szabványra épülő interfésszel rendelkezik.



9. ábra Analóg vezérlőket HID joystick-ként megjelenítő áramkör NYÁK terve

## Navigációs rádiók

A navigációs rádiók kezelőszervei a gázkarpult mögött található. A navigációs rádió két kezelőpultján beállítható NAV1 és NAV2 frekvenciák a rádió navigációs IFR repülések során fontos feladatot kapnak, ezért fontos implementálásuk a szimulátorban. A modulnak összesen 20 db 7 szegmenses LED kijelzőt kell vezérelnie, amik 4x5-ös csoportba vannak rendezve, valamint két forgó kódkapcsoló és 2x2 db nyomógomb jelét is fel kell dolgoznia (11. ábra).



10. ábra Navigációs rádiók vezérlőpaneljének NYÁK terve

A modul szintén CAN buszon kapcsolódik a szimulátor belső mikrovezérlős hálózatához, NYÁK terve a 10. ábrán látható.



11. ábra A navigációs rádiók

## Kapitány oldali óra

A szimulátorban végrehajtandó különféle navigációs feladatokhoz (pl.: dead reckoning<sup>12</sup>, piloting<sup>13</sup>) szükséges az időmérés megoldása. Ennek megfelelően egy stopper funkciót is tartalmazó, 4 digités, 7 szegmenses kijelzőből álló óra került kialakításra a szabványos B737 óra helyén. Ezen alaphelyzetben a szimuláció aktuális ideje látható, de egy nyomógomb segítsé-

<sup>12</sup>dead reckoning: pozíció becslésen alapuló navigáció

<sup>13</sup>piloting: összehasonlításon alapuló navigáció (földi referenciapontok alapján)

gével átváltható stopper üzemmódra. A szükséges adatot, a szimuláció aktuális idejét ez a modul is a belső CAN buszon kapja.



12. ábra Az időmérő óra a kapitány oldalán

### Egyéb fejlesztések

A fent felsoroltakon túl további kisebb fejlesztések is történtek a szimulátoron. A régi rendszerben a futóművet működtető kar, egy egyedi gyártású vékony acéllemezből, alumínium rúdból, rugóból és két mikrokapcsolóból álló szerkezet volt, ami a 8 éves használat során megkopott, kotyogott, valamint erősen korrodálódott. A mikrokapcsolók már bizonytalanul működtek, illetve gyenge szerkezete miatt túlságosan finom kezelést igényelt. Ezt a szerkezetet cseréltük ki, egy teljesen alumínium építésű, szerkezeti kialakítását tekintve strapabíróbb, erős szerkezetre, melyben 2 mikrokapcsoló kapott helyet a benti illetve kinti helyzet érzékelésére. Az új szerkezet 3 pozícióval rendelkezik, ahogy az igazi Boeing 737-es repülőgépen is van.

Emellett a pilótafülkében végzett munkát, térképek olvasását megkönnyítendő, a glareshield alsó felületére, LED fényforrásokból építve műszerfal világítás került, melyet a műszerfal mindkét oldalán elhelyezett nyomógombbal lehet kapcsolni. (13. ábra)



13. ábra balra: műszerfal világítás nélkül, jobbra: műszerfal bekapcsolt világítással



14. ábra Működés közben

## AZ ÚJ RENDSZER SZOFTVERES FELÉPÍTÉSE

### Szimulátor program

Az oktatásra és bemutatóra használt szimulátor konfigurációnál több lehetséges kereskedelmi forgalomban kapható szimulátor program alkalmazása is számításba jöhetett. A programok kiválasztásánál fontos szempont volt az:

- alacsony árfekvés,
- jó minőségű grafika,
- alkalmas legyen VFR repülésre, az ilyen eljárások megismerésére
- alkalmas legyen IFR repülésre, az ilyen eljárások megismerésére (megfelelő navigációs adatbázissal rendelkezzen)
- könnyen konfigurálható legyen,
- együttműködjön az egyedi építésű hardverekkel,
- megfelelően kicsi gépigénye legyen,
- lehető legtöbb adatot szolgáltatssa a repülésről a nem repülésmechanikával kapcsolatos kutatások, vizsgálatok (pl. ergonómia, pilóta munkaterhelés, stb.) segítésére.

A számtalan lehetőség közül végül 4 program bizonyult alkalmasnak:

- **Microsoft Flight Simulator 2004:** A Flight Simulator sorozat 9-ik verziójaként 2003-ben került kereskedelmi forgalomba. FSUIPC/WideFS programcsomag segítségével könnyen adatok nyerhetők ki, illetve vihetők be a programba. Gépigénye a mai hardverekhez viszonyítva kicsi. A korábbi szimulátor is ezt a verziót használta. Nagy felhasználói táborának köszönhetően, nagyon sokféle hardver és szoftver kiegészítő található hozzá.
- **Microsoft Flight Simulator X [4]:** A Flight Simulator sorozat legmodernebb verziója, 2007-ben került forgalomba. Az előző verzióhoz képest jobb grafikával rendelkezik, az FSUIPC/WideFS programcsomag mellett saját beépített simconnect technológiájával is lehetőséget nyújt az adatok be illetve kiolvasására, valamint egyedülként a szimulátor

mulátor funkcióinak kibővítésére. Számítógépigénye meglehetősen nagy, emiatt felhasználói tábora csak lassan növekszik, de a 2004-es verzióval közel azonos mértékű a támogatottsága.

- **X-plane9** [5]: Ahogy a neve is mutatja ez az X-plane sorozat 9. része (azóta megjelent a 10. legújabb része is), az előző két programhoz képest felhasználói tábora kisméretű, ezért kevesebb kiegészítő érhető el hozzá, bár ezek száma folyamatosan növekedik. A gyártó részéről jó támogatással bír, ami nem mondható el az előző két programról. Gépigénye a Flight Simulator X-hez hasonlóan magas, de jól skálázható. Ezen kívül több olyan egyedi jellemzővel bír, mely az oktatásban hasznos lehet, de az előző két program nem tudhat magáénak.
- **FlightGear** [6]: Az előző 3 programmal ellentétben ez a program ingyenesen elérhető szabad forráskódú. Grafikája messze elmarad a többitől, viszont a repülésdinamikai modulja könnyen kikapcsolható és helyettesíthető más, tudományos kutatás szempontjából pontosabb, egyedi készítésű programmal (pl. MATLAB Simulink). Ilyenkor a FlightGear csak a repülési adatok vizuális megjelenítését végzi. Több egyetem, pl. az Aacheni egyetem Repülésdinamika Tanszéke is ezt a szimulátort használja a repülésdinamika c. tantárgyak oktatásában. A korábbi szimulátorban is alkalmazásra került ez a program repülésmechanikai és szabályzó rendszerek vizsgálatánál. Ezt leszámítva a program felhasználói tábora igen kicsi, „homecockpit” építésben nem terjedt el.

A felsorolt programok közül a tanszék rendelkezik mindegyik programmal. A felsorolt tulajdonságok alapján, az oktató és bemutató feladatokhoz, a szimulátorban korábban is alkalmazott Flight Simulator 2004 használata mellett döntöttük, a mai számítógépek teljesítményéhez mérten kis gépigénye, kedvező konfigurálhatósága, valamint nagyobb támogatottsága miatt. Az elérhető rengeteg kiegészítő miatt grafikai képességei nagyon jól javíthatók, minimális számítási kapacitás növekedés mellett. Sokrétúsége miatt pedig mind a járműmérnökök, mind pedig a közlekedésmérnökök képzésben alkalmazható.

### **Műszerek, repülőgép avionikai rendszerei**

Erre a célra korábban a szimulátorban a Project Magenta 737-es programcsomagja volt telepítve. Ez a program magában foglalta a repülőgép műszereit megjelenítő Glass Cockpit modult, ami megjelenítette a műszerfalon a PFD, ND, és EICAS kijelzőket. Továbbá magában foglalta az MCP modult, melynek segítségével a Boeing 737 típusra jellemző robotpilóta funkciók váltak elérhetővé. Ezen kívül magában foglalta még a CDU modult, mely modul a repülőgép Flight Management rendszerét szimulálta. Ennek a modulnak a képe jelent meg a korábbi CDU-n. A 2002-es építés, és a program megvásárlása óta a Project Magenta 737-es programcsomag sok fejlesztésen esett át, több újabb, kibővített képességekkel rendelkező verzió jelent meg. Az előző fejezetben ismertetett okok miatt egy új verzió beszerzése nem jöhetett szóba, így más megoldást kellett találni a program helyettesítésére.

Napjainkban már a Project Magenta programon kívül több gyártó is kínál ilyen műszer csomagokat különböző típusú repülőgépekhez, mindezt közel tized akkora áron. Az elérhető programok próba verzióinak tesztelése után a választás a Flight Deck Software 737-es programcsomagjára [7] esett. A cég a programot többféle konfigurációban forgalmazza, melyből a teljes, „Suite” csomag nettó 500€-ba kerül és a következő elemeket tartalmazza:

- CPT és F/O oldali PFD, ND, CDU, EFIS control panel,
- Upper és Lower EICAS,
- Server program,
- MCP program,
- System Logic/Hardware support,
- Hardware modul,
- Instructor Station

A program átalakítás, konfigurálás nélkül alkalmazható az FS2004 és az FSX programokkal is. A flight simulator és ez a program FSUIPC/WideFS modulon keresztül kapcsolódik egymáshoz, illetve a pilótafülkéből CAN buszon érkező parancsok (pl. gombok lenyomása, tekerők állítása) is mind ezen a modulon keresztül érik el a programot, illetve ezen a modulon keresztül küld adatokat a CAN buszra a program.

A program kompatibilis a megvásárolt FlyEngravity CDU-val, mellyel soros kapcsolaton keresztül kommunikál.



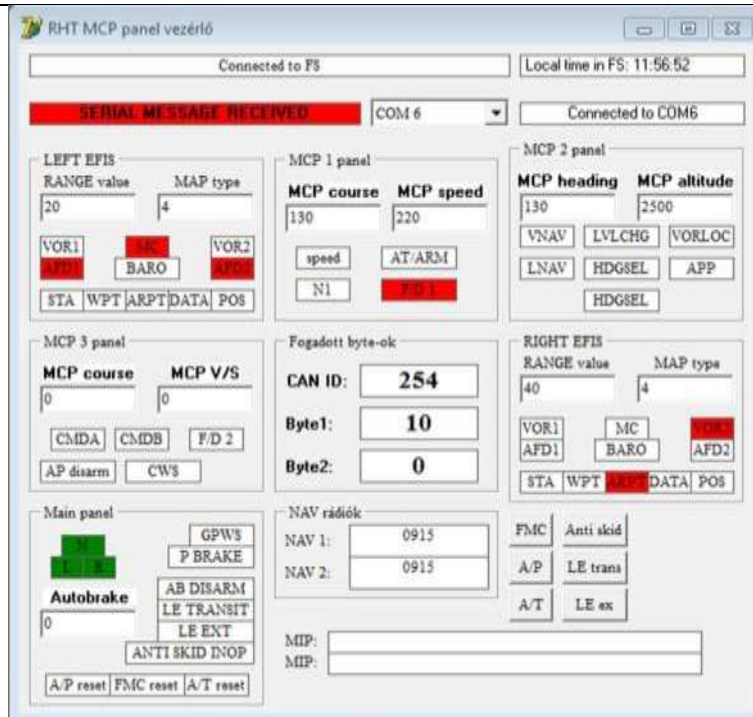
15. ábra A program által megjelenített műszerek

## FSUIPC/WideFS

Ez a modul biztosítja a flight simulator kapcsolatát a külső programokkal, TCP/IP kapcsolaton keresztül. A két program ára összesen 48€. Ennek segítségével több száz különböző adat olvasható ki, illetve olvasható be a szimulátorba. Ez a programcsomag a régi szimulátorban is alkalmazásra került, így részletesen nem kerül ismertetésre.

## Szimulátor vezérlő program

Ez a program egy a tanszéken a szimulátorhoz Delphi7 környezetben fejlesztett vezérlő program, mely megteremti a kapcsolatot a szimulátor épített hardver elemeit összekötő CAN bus rendszer, és a szimulátort kiszolgáló számítógépek, valamint szoftverek között. A program egyrészt soros porton keresztül adatot olvas be a CAN bus rendszerről, feldolgozza a kapott adatokat, majd FSUIPC OFFSET-en keresztül továbbküldi a szimulátornak, vagy az avionikai rendszert működtető programoknak. Másrészt pedig FSUIPC OFFSET-en keresztül kapott adatokat dolgozza fel, és továbbítja a CAN bus rendszeren keresztül a megfelelő modulnak (pl. a pilótafülkében elhelyezett órának, vagy a különféle visszajelző lámpáknak).



16. ábra A szimulátor vezérlő program felhasználói felülete

## Szimulátor ellenőrző program

A pilótafülkében zajló munka felügyeletére, online nyomon követésére, valamint a bemutatók során az érdeklődők tájékoztatására, Delphi környezetben kifejlesztésre került egy olyan szoftver, melynek felhasználói felületén (17. ábra), Google térkép, illetve műholdképek felhasználásával nyomon követhető a repülőgép múltbeli repülési útvonala, illetve aktuális pozíciója, valamint a legfontosabb repülési adatok, mint

- mágneses irány,
- repülési magasság,
- műszer szerinti repülési sebesség,
- függőleges sebesség,
- valamint a repülőgép gyorsulásai a testkoordináta rendszerben.

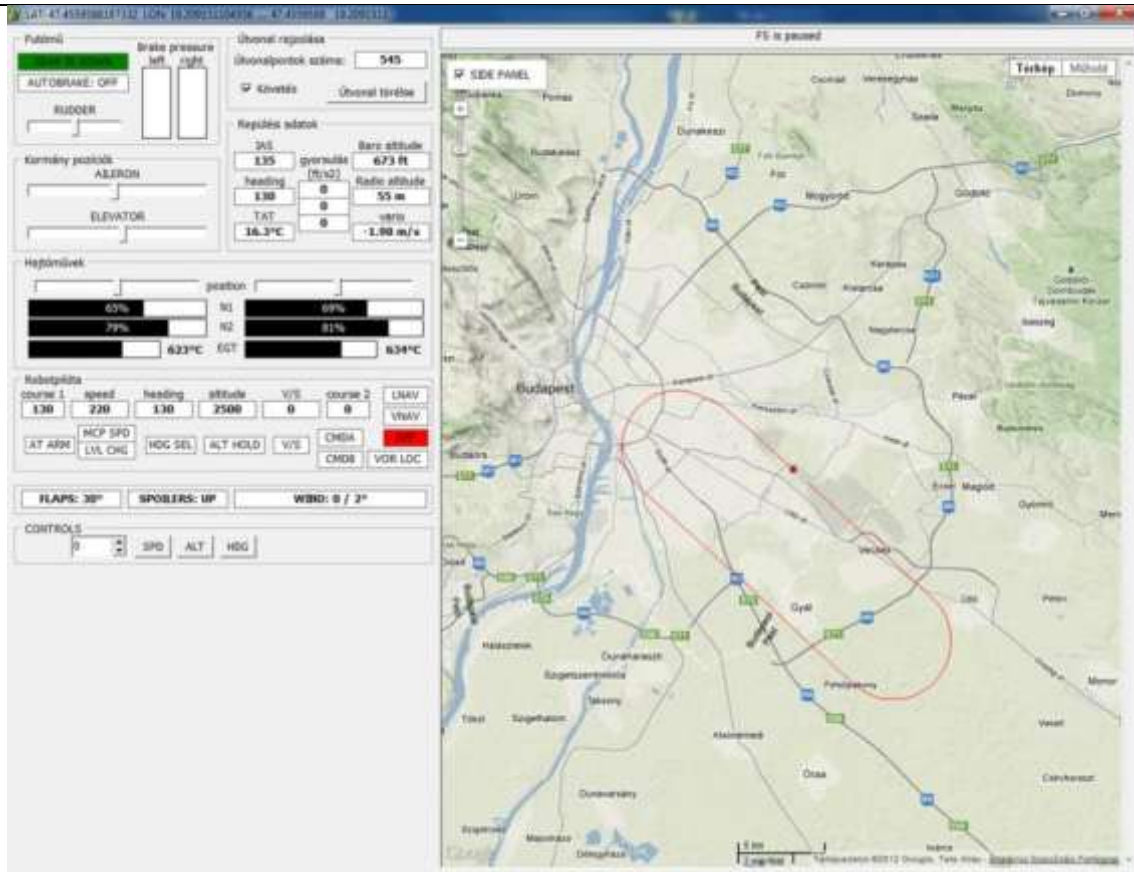
Ezen kívül megjelenítésre kerülnek:

- a repülőgép kormányainak aktuális pozíciói,
- a futóművek helyzete,
- alkalmazott fékerő nagysága a főfutó kerekein,
- a hajtóművek főbb paramétereit és a gázkarok pozíciója,
- valamint a robotpilóta egyes funkcióinak állapotai,

Valamint távolról vezérelhetők egyes robotpilóta funkciók is.

A program hasonlóan a többi szoftverhez, képes bármely a hálózatra csatlakoztatott számítógépen futni, a szimulátorhoz csatlakoztatásához csak a WideFS kliens program használata szükséges.





17. ábra A szimulátor ellenőrző program felhasználói felülete

## Komplex adatgyűjtő program

A repülőgépeken alkalmazott repülési adatrögzítő mintájára került kifejlesztésre egy komplex adatgyűjtő program, melynek feladata, hogy tetszőleges mintavételezéssel rögzítse a szimulált repülés paramétereit, a pilóta tevékenységét, és sok más adatot, mint pl. a pilóta életfunkcióit. Felhasználó felületének segítségével online is követhetők az egyes rögzített paraméterek, melyeket folyamatosan ment a program, későbbi offline kiértékelés céljából.

A program feladata, hogy lehetőséget nyújtson olyan kutatási feladatokra a szimulátorban, mellyel vizsgálható a pilótafülkében zajló munka, illetve megjelenítsen olyan adatokat, melyek a repülőmérnök hallgatóknak szemléletesen és interaktívan segítenek megérteni és elsajátítani az aerodinamika, és elsősorban a repülésmechanika összefüggéseit, valamint betekintést nyújtson a repülési mérések kivitelezésének gyakorlatába is.

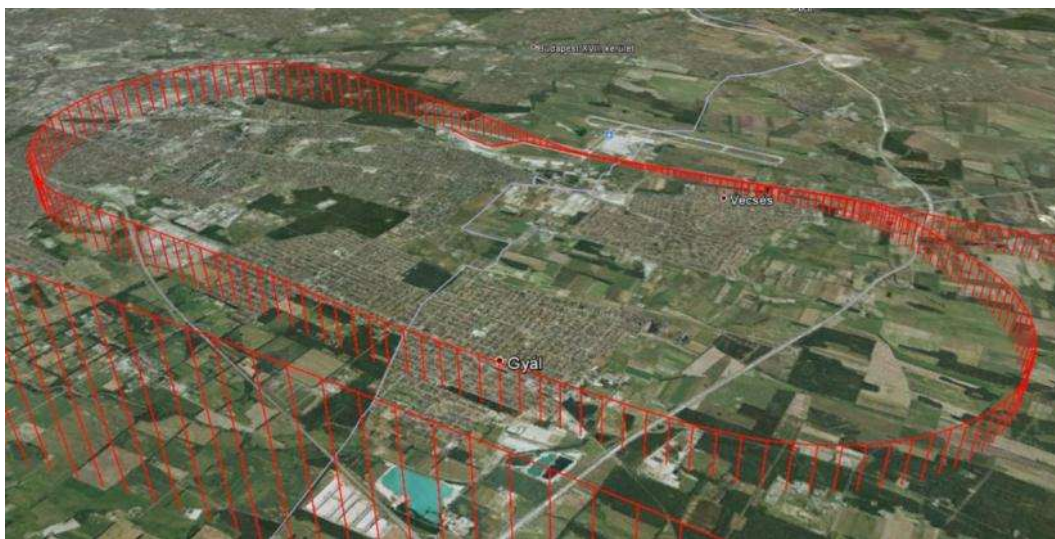
## GPS szimulációs program

A program feladata, hogy lehetővé tegye olyan külső navigációs eszközök csatlakoztatását a rendszerhez, melyek nem rendelkeznek belső GPS vevővel, vagy külső GPS eszközt használva is képesek működni. A program egy NMEA mondatokat küldő GPS vevő eszközt szimulál, melyhez a szükséges pozíció, sebesség, és egyéb adatokat FSUIPC OFFSET-en keresztül olvassa ki a szimulátorból, majd ezeket standard NMEA mondatokká alakítva vezetékcsatlakoztatással, vagy Bluetooth SPP kapcsolatán keresztül küldi tovább a csatlakoztatott eszköznek. A program fejlesztésének célja a különböző külső navigációs eszközök használatának

biztosításán kívül az, hogy egy megfelelő platformot biztosítson navigációs eszközök fejlesztéséhez és teszteléséhez.

### Útvonal vizualizációs program

A fentieken túl, elkészült egy kis program, melynek használatával, az ingyenesen letölthető Google Earth [9] programban online követhető a repülés útvonala. Használata közben a program folyamatosan rögzíti az útvonalat, az útvonalpontok rögzítése tetszőlegesen állítható, jellemzően 0,1-2 másodperces mintavételezési sebességgel történik. Segítségével 3dimenziós térben szemléltethető a repülőgép repülési pályája, a használt indulási érkezési eljárások útvonala, valamint egy a légtérket tartalmazó adatbázist betöltve ezek egymáshoz viszonyított térbeli elhelyezkedése. Ez a program szintén FSUIPC OFFSET-en keresztül kommunikál a rendszerrel, futtatása tetszőleges, Google Earth-t és WideFS kliens futtató számítógépen lehetséges.



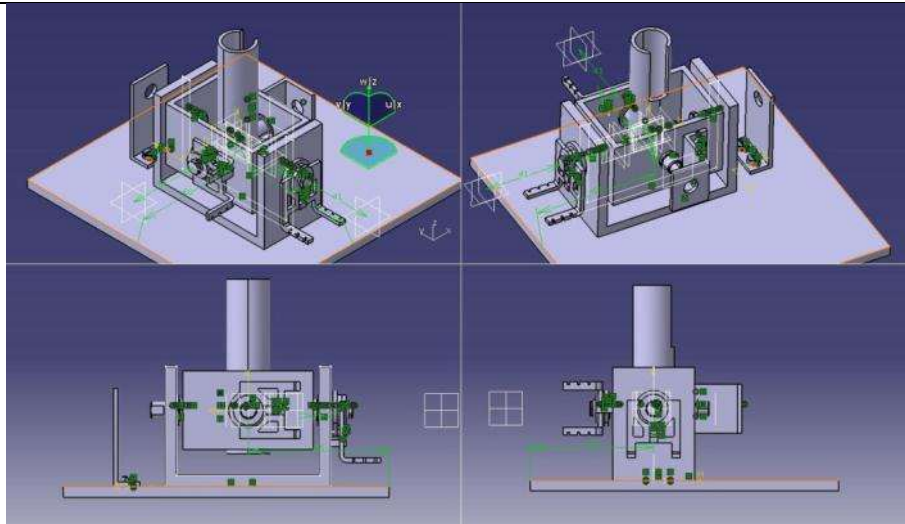
18. ábra A repülési pálya valós idejű vizualizációja Google Earth programban

## FOLYAMATBAN LÉVŐ FEJLESZTÉSEK

Ebben a fejezetben röviden ismertetésre kerülnek a folyamatban lévő legújabb fejlesztések.

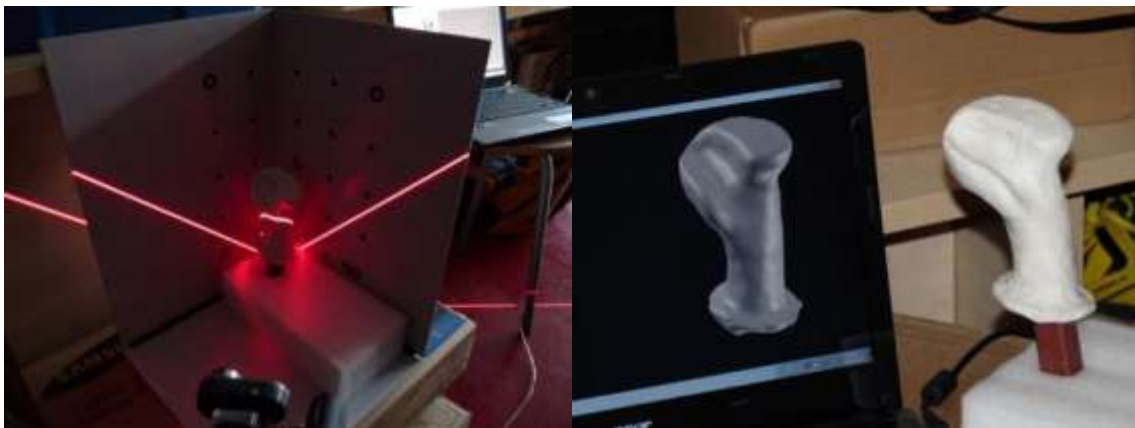
### Joystick

Szabó András végzős Msc hallgató, diplomamunkájában egy olyan joystick megtervezését és megépítését tűzte ki célul, amivel egyrészt lecserélhető a régi rendszerből visszamaradt joystick, másrészt alkalmas a pilóta pulzusának és bőrnedvességének mérésére, lehetővé téve a pilóta fiziológiai vizsgálatát különböző repülési szituációk során, mindezt úgy, hogy nem igényel különleges felkészítést, a pilóta munkáját nehezítő, vagy akadályozó eszközök viselését. Munkája során megtervezte a joystick belső mechanizmusát (19. ábra), megvizsgálta a kormány szervbe integrált pulzus és bőrnedvesség érzékelés módjait.



19. ábra A joystick mechanizmusának CATIA modellje

A méréshez alkalmas markolatot tervezett, melyet lézershakenneléssel 3dimenziós modellé alakított (20. ábra). A 3D-s modell kialakítása után a markolat FDM eljárású gyors prototípusgyártással kerül legyártásra. Ezen kívül megtervezi és megépíti a vizsgálathoz szükséges áramköröket, és szoftvereket.



20. ábra balra: a markolat lézershakennelés közben, jobbra: a beszakennelt modell és a valós gyurma modell

## Android kliens

A mai trendeknek és igényeknek megfelelően egy olyan szoftver fejlesztése is folyik a szimulátorhoz, amely Android operációs rendszert futtató „okostelefonra” telepíthető. A szoftver on-line módon a szimulátor több adatát is képes megjeleníteni, továbbá egy beépített térképen a repült útvonalat is megjeleníti, az aktuális pozícióval együtt. Ez a szoftver a BME VIK Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszékkal együttműködésben készül, a szoftver konkrét fejlesztési munkái ezen a tanszéken kerülnek elvégzésre, hallgatói önálló laboratórium téma keretében. A fejlesztés alatt álló mobilalkalmazás egy képernyőjének lehetséges kialakítása a 21. ábrán látható, a végleges szoftverben ennél professzionálisabb kialakítás lesz elérhető. A szoftver amellet hogy egy plusz adatmegjelenítő felület, a szimulátor látogatóinak (pl. kutatók éjszakája, ipari, vagy külföldi látogatók) saját mobil eszközén történő adatmegjelenítésre is használható, amivel növelhető a bemutatók színvonala.



21. ábra A tervezett mobilalkalmazás térképnézetének egy lehetséges kialakítása

## ÖSSZEFOGLALÁS

2010 decemberében, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszékének Repülés szimulátor laboratóriumában, a HungaroControl Zrt. és a Budapest Airport Zrt. támogatásával, valamint Bsc-s és Msc-s hallgatók bevonásával egy nagyszabású felújítás, fejlesztés vette kezdetét. Ezen felújítás célja volt, hogy a szimulátor alapfunkcióit ellátó előregedett, olykor már nem megfelelően működő hardverek és szoftverek helyett új modernebb eszközök kerüljenek felhasználásra úgy, hogy a szimulátor korábbi képességei mellett azt új funkciókkal is felruházzuk. Hardveres területen a fejlesztés egyfelől a szimulátort működtető számítógépeket, másfelől a szimulátor pilótafülke kijelző és beviteli egységeinek elektronikáját érintette. A régi, már megbízhatatlanul működő rendszer helyett a tanszék elektronikai laboratóriumában egy olyan új, modul rendszerű hardverkörnyezet került kifejlesztésre és megépítésre, amiben az egyes modulok CAN busz technológia felhasználásával kommunikálnak egymással. Szoftveres téren is új programok kerültek felhasználásra, valamint kifejlesztésre (pl. komplex adatgyűjtő, kiértékelő rendszer, repülési pálya vizualizáció, adatkapcsolat külső navigációs rendszerekkel, stb.).

A jelen cikk, az eddig elvégzett fejlesztésekbe nyújtott betekintést, részletesen ismertette a pilótafülke kijelző és beviteli egységeinél alkalmazott új hardvereket és szoftvereket, valamint a szimulátor pilótafülke és az alapfunkciókat ellátó szoftverek közötti kommunikációs protokollokat. A cikk végén bemutatásra kerültek a jelenleg is folyamatban lévő fejlesztések, amelyekből látható, hogy a szimulátor fő funkcióját, a kutatási-oktatási tevékenységet jelenleg is aktívan ellátja.

### Köszönetnyilvánítás

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogatja.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, tanszéki fénykép archívum
- [2] FSUIPC, WideFS, url: <http://www.schiratti.com/dowson.html>
- [3] Project Magenta, url: <http://www.projectmagenta.com>
- [4] Microsoft Flight Simulator X, url: <http://www.microsoft.com/games/flightsimulatorx/>
- [5] X-plane, url: <http://www.x-plane.com/>
- [6] FlightGear, url: <http://www.flightgear.org/>
- [7] Flight Deck Software, url: <http://www.flightdecksoftware.com/>
- [8] FlyEngravity, url: <http://www.flyengravity.com/>
- [9] Google Earth, url: <http://www.google.com/earth/index.html>



Makkay Imre<sup>1</sup>

## LÉGI JÁRMŰ DIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATOK – DINAMIKUS TERMOGRÁFIA<sup>2</sup>

*A roncsolásmentes vizsgálatok kiemelt fontosságúak a légi járművek üzemeltetése, karbantartása, javítása folyamatában. A „dinamikus termográfia” lényege, hogy a vizsgálandó darabbal külső energiát közölve a folytonossági hiányok, repedések a hőkép változása alapján felfedezhetőek. Az elv egyaránt alkalmazható a fém és kompozit szerkezetű repülő eszközök vizsgálatánál, azonban a „gerjesztés” módja – az anyag és a vizsgálati körülmények függvényében – eltérő lehet. Az írásmű kitekintést nyújt a külföldi és hazai eljárásokra és ismerteti a tanszéki kutatások tapasztalatait*

### **DIAGNOSTIC MONITORING OF AIR VEHICLES – DYNAMIC THERMOGRAPHY**

*The non-destructive testing of aircraft is the highest priority operation of maintenance and repair process. The “dynamic thermography” is that the test piece of external energy the flaws, cracks in the thermal image is detected based on the change. The principle is applicable to both metal and composite aircraft testing of devices, however, the “excitation” mode – depending on the material and test conditions in practice - may be different. This article is the outlook for foreign and domestic procedures and describes the experiences of faculty researches.*

## BEVEZETÉS

A dinamikus termográfia a roncsolásmentes vizsgálatok egyik ígéretes eljárása, amely az egyre elérhetőbb eszközöknek köszönhetően mára megérett a szélesebb körű alkalmazásra – különös tekintettel a repülőgépek állapot szerinti üzemeltetésekor kötelező gyakori ellenőrzésekre. A termokamerák mérete és ára egyre csökken, a felbontásuk és képfeldolgozásuk egyre javul, a szélesedő alkalmazói kör tapasztalatai a szaporodó szakmai publikációknak köszönhetően elterjedőben. Ezek alapján a repülőipari alkalmazásoknak – melyek korábban csak a hasznos terhek felderítő konténereiben és az éjjeli vezetés támogatásában nyertek teret – egyre inkább kiterjednek a légi járművek sárkány, hajtómű, avionika, sőt a fegyverzet vizsgálata irányába is. A szerkezeti elemek mechanikai túlterhelése árulkodóan hőmérsékletváltozással (általában növekedéssel) jelentkezik – ennek regisztrálására már a passzív infra-felvételek is jól használhatók. A nagyobb kihívás, ha a terhelés már megszűnt és a keletkezett folytonossági hiány, repedés, kötőelem lazulás, delamináció, vagy korrózió helyét kell megkeresni. A dinamikus termográfia ebben kínál kivételes lehetőséget – a vizsgálat során állít elő olyan körülményeket, amelyben a meggyengült szerkezeti elem az „egészségesektől” eltérő hőmérséklettel jelez.

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem kutatási témái között szereplő eljárásról és a hozzá kapcsolo-

---

<sup>1</sup> ny. okl. mk. ezds. egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Óvári Gyula ny. okl. mk. alez; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovar.gyula@uni-nke.hu

## DINAMIKUS TERMOGRÁFIA

A „klasszikus” termográfia a testek saját kisugárzott hőjét érzékeli. [1] A termo-diagnosztika ezen túl is keres anyagra, konstrukcióra, pillanatnyi állapotra jellemző tulajdonságokat. A vizsgálatok gyakran szabad térben, vagy nehezen befolyásolható zárt környezetben folynak, amelyek zavaró hatását a mérő rendszernek, illetve a mérési eljárásnak kell a lehető legkisebb értékre szorítani. [2]



1. ábra A hagyományos hibafelmérés termokamerával<sup>3</sup>

A „dinamikus termográfia” [3] lényege, hogy a vizsgálandó darabbal külső energiát közölve a folytonossági hiányok, repedések közvetlen közelében hővé alakul és ez a hő – amely akár néhány tíz °C is lehet – már detektálható termo-kamera, vagy infra-érzékeny film segítségével. Az elv egyaránt alkalmazható a fém és kompozit szerkezetű repülő eszközök vizsgálatánál, [4][5] azonban a „gerjesztés” módja – az anyag és a vizsgálati körülmények függvényében – lehet eltérő. A roncsolásmentes vizsgálati módszerek sorában, a jövőben egyre erősödő szerepet kaphat a dinamikus termográfia [6].

Tekintsük át a legjellemzőbb gerjesztési lehetőségeket, azok sajátosságait.

### Fény-gerjesztés

A fény-gerjesztést – viszonylagos egyszerűségének köszönhetően – széles körűen alkalmazzák a repülőgépek felületi termo-diagnosztikai vizsgálatánál. A látható fény tartományban a halogén lámpa, vagy villanó fény – megfelelő szinkronjellel vezérelve – biztosítja a fényforrás és a termo-kamera fázishelyes működését. A fény által keltett hő a sérülések, repedések környezetében

<sup>3</sup> <http://tpu.ru/i/content/1249/img12.jpg>

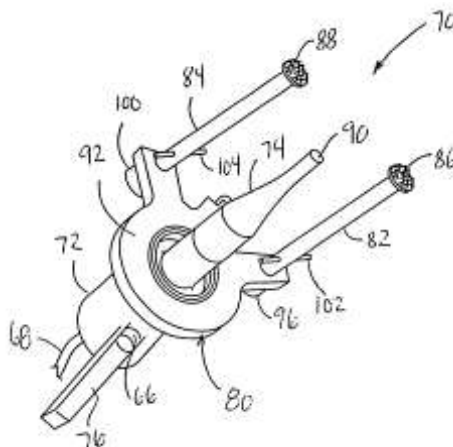
a homogén anyagtól eltérően reflektálódik, amit a termo-kamera a besugárzások szünetében képi formában megjelenít. Az ismételt besugárzásokkal a mélyebb rétegek is elérhetők, a számítógépes képfeldolgozással a felbontás és a kiértékelés minősége tovább javítható.

### Indukciós gerjesztés

Indukciós gerjesztéssel a fémes (vezető) alkatrészekben keletkező örvényáramokkal okozhatunk hőmérséklet-emelkedést. A nagyfrekvenciás jelet előállító generátor és a termo-kamera az időzítő által fázisban vezérelt, ami egyben a képfeldolgozás számára is referencia jelet biztosít.

### Ultrahangos gerjesztés

A gerjesztő jel frekvenciáját és teljesítményét a vizsgált tárgy anyagához, méretéhez kell hangolni. A termo-kamera hőmérsékletváltozást érzékel – amely a mechanikus rezgések hatására következik be. Az egyszerű – nem szinkronizált – akusztikus gerjesztés, ugyan létrehozza a hőmérsékletváltozást a nem homogén, deformált, repedéses szerkezetekben, azonban emellett jelentős termikus zaj is keletkezik. A túl nagy teljesítményű ultrahang generátorok önmaguk is kelthetnek deformációt – lásd ultrahangos hegesztés – ami a mérés meghamisításán túl maradandó károsodást is okozhat a vizsgált tárgyban.



2. ábra Ultrahangos kézi hegesztő berendezés, mint gerjesztő egység - United States Patent 6593574<sup>4</sup>

Ennek elkerülésére – a vizsgálandó tér közelében a felületre rögzítve – kisteljesítményű piezo-keramikus aktuátorokat alkalmaznak, valamint a jelfeldolgozó egység szinkronizálja gerjesztő generátort és a termo-kamerát. E két módszer mindezek mellett még jelentős fejlesztés előtt áll, különös tekintettel a fém és műanyag építésű repülőgépek eltérő gerjesztési igényeire és technológiájára.

### Mikrohullámú gerjesztés

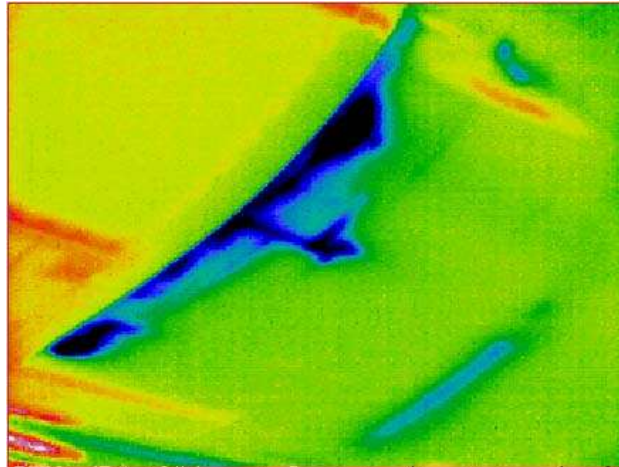
A modern repülőgépek egyre nagyobb számban épülnek kompozit technológiával, ami a javuló tömeg/teljesítménymutatók szempontjából öröndetes – azonban a fenntartás, karbantartás, javítás számára új kihívásokat is jelent. A korszerű kompozit alapú repülőgép alkatrészek „pre-

<sup>4</sup> <http://www.freepatentsonline.com/6593574-0-large.jpg>



preg” (előre impregnált) karbon, üveg, kevlar szövetből készülnek, amit a kötéshez vacuum-press kemencékben „sütnek” készre. A gyártás során folyamatos a minőség-ellenőrzés, ami biztosítja, hogy a kész alkatrész lehető legjobb paraméterekkel hagyja el a szalagot.

A repülőgépek életük folyamán gyakran kapnak „hideget-meleget” – ami önmagában nem lenne baj, hiszen így méretezték őket. Az előre nem látható események – vihar, villámcsapás, repülés-, fel és leszállás közben bekövetkezett túlterhelés – okozhat olyan, szemmel nehezen felfedezhető könnyebb sérüléseket, repedéseket, amelyeken keresztül nedvesség juthat például a „honeycomb” (méhsejt) szerkezetbe, amit a következő fagy már szétfeszít. (2. ábra)



3. ábra Delaminált kompozit rétegek egy repülőgép szárnyszelvényében<sup>5</sup>

A műszaki megoldás alapja olyan nagyfrekvenciás – mikrohullámú – generátor(család), amely átfogja a repülőgépek építésénél használatos anyagok gerjesztési tartományát és alkalmas azokban termikus reakció kiváltására.

## DINAMIKUS TERMOGRÁFIA LÉGI JÁRMŰVEK VIZSGÁLATÁRA

A légi járművek szerkezeti elemeinek szilárdsági vizsgálata a beépítés előtt illetve azt követő terhelési próbák folyamán kerül először – és a legtöbb esetben utoljára – végrehajtásra. A már üzem-szerűen működő gépek állapotáról a rendszeres átvizsgálás során a vizuális és műszeres ellenőrzés adhat információt. A külső, látható, meghibásodásra utaló jelek az alkatrészek, borítások deformációja, festés repedése, elszíneződése mind a hibafelmérő gyakorlott szemén múló jelzések.

Az olyan anyagfáradás, repedés, korrózió, delamináció, aminek a felületen nincs látható nyoma a roncsolásmentes vizsgálatokkal fedezhető fel. A dinamikus termográfia egy viszonylag új lehetőség – az eszközök korábban nem voltak széles kör számára hozzáférhetők. Az eljárás és a technikai kivitelezés éppen ezért „fejlődőképes”, a kutatók és fejlesztők számára is érdekes kihívást jelent.

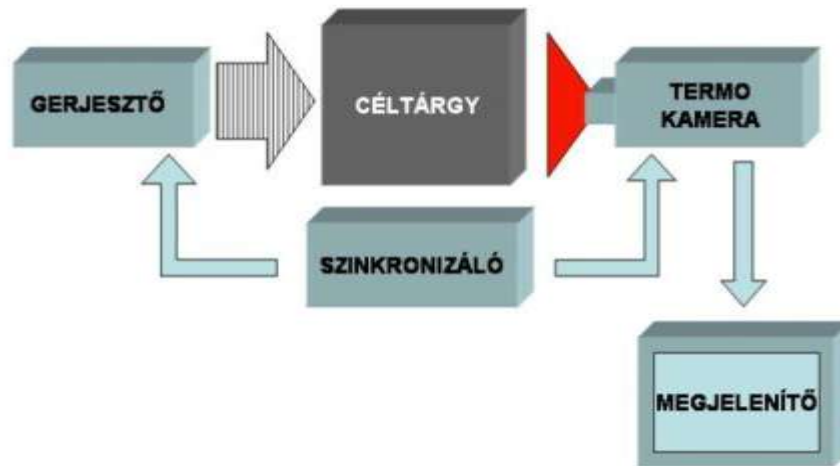
A dinamikus termográfiai mérőhely alapvető elemei (1. ábra):

- gerjesztő egység,
- termo kamera,

<sup>5</sup> [http://www.metrum.co.uk/images/Sample\\_Aircraft\\_Composition.JPG](http://www.metrum.co.uk/images/Sample_Aircraft_Composition.JPG)

- megjelenítő egység,
- szinkronizáló egység.

Amint láttuk, a gerjesztő egység feladata a rövid idejű és alacsony intenzitású „hősokk” kiváltása – természetesen nem okozva ezzel a vizsgált szerkezeti elemek maradandó deformálódását. A gerjesztési módot a vizsgálat tárgya és a helyi körülmények alapján lehet megválasztani. Műanyag szerkezetű anyagoknál a hagyományos indukciós nem, de a többi eljárás sikeres lehet. A cél, hogy az inhomogenitás (repedés, deleminálódott réteg) a hőmérsékletemelkedés / hűtés hatására eltérő sebességgel kövesse a környezete változásait.



4. ábra A dinamikus termográfiai mérőhely elemei<sup>6</sup>

A szinkronizáló egység – az anyag-, környezet-, meghibásodás jellegének függvényében – ütemezi a gerjesztő ciklusokat és vezérli a termokamera felvételeit. Az egyes gerjesztési ciklusok között, ha nagy a szünet, akkor a különbségek kiegyenlítődnak, összemosódnak. Az optimális gerjesztési intenzitás és a szünet idői mindig az adott helyen állítandó be – a céltárgyhoz hasonló etalonon a leghatározottabban kirajzolódó sérülés képére.



5. ábra A hőkamera és a külső vezérlő egységre csatlakoztatható képernyő<sup>7</sup>

<sup>6</sup> A szerző rajza

<sup>7</sup> [http://www.thermodelta.hu/images/tp8\\_3.jpg](http://www.thermodelta.hu/images/tp8_3.jpg)

A termokamera sorozatképeket készít, melyek elektronikus úton a megjelenítő tárhelyeire kerülnek. A termokamerának is az objektum és a környezet alapján kell a lehető legtöbb hasznos információ kinyerésére alkalmas beállítását megtalálni. A mérések megismételhetőségének érdekében mindezeket a jegyzőkönyvben rögzíteni kell.

A megjelenítő egység a mérési adatok tárolását és későbbi jel/kép feldolgozását hivatott biztosítani – célszerűen egy számítógép. Mivel az előző egységek ezt nem tudták befolyásolni, így a képfeldolgozás kell, hogy a termikus alapzajt lecsökkentse – ha lehetséges kioltsa. Ez utóbbi feladat megoldása az egyetemi kutatásunk egyik célkitűzése.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A termográfia a vizsgálandó objektum hőképéből alkot olyan – már szemmel is értékelhető – vizuális megjelenést, amiben az anyag minősége, folytonossága értékelhetővé válik. A termográfiai alkalmazások száma egyre nő – ez kedvező körülményeket teremt a korábban nehezen beszerezhető eszközök eléréséhez.

A dinamikus termográfia olyan megoldásokat kínál a repülőgépek állapotának vizsgálatára, amely más eljárásokkal nem, vagy csak nehezen kivitelezhető. A repülőgépeknek és alkatrészeknek jellemzően nagy mérete, összetett alakja nem könnyű feladat elé állítja az ellenőrzőket. A kihívást fokozza, hogy a repülőgépek általánosan a „szabad ég” alatt dolgoznak. A vizsgálatokat – azok egy részét – tehát külső hőmérsékleti viszonyok között kell végrehajtani, ami nagyon átgondolt technológiát és gyakorlott személyzetet igényel.

A számos, még nyitott kérdés közül a dinamikus termográfiában alkalmazható gerjesztési eljárások és az intelligens megjelenítők (képfeldolgozók) felkutatása, kidolgozása és kísérleti alkalmazása az elsődleges célunk.

A korábbi termo-diagnosztikával foglalkozó írásainkban már utaltunk a hazai kutatások – közöttük a Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék oktatói és hallgatói által végzett kísérletek és elméleti munkák – eredményeinek kölcsönös hozzáférését előmozdítandó kezdeményezésünkre. A hazai repülőgép üzemeltetők és javító-karbantartó szervezetek számára is hasznos tudás és gyakorlat szándékunk szerint kedvező körülményeket teremthet – különösen a repülőgép park nem túl fiatal egyedeinek – műszaki kiszolgálásához.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. NAGY Tamás A termokamera, avagy a csörgőkígyó stratégiája I. II.  
[http://www.hexium.hu/index2.html?HUN&downloads&04\\_Downloads/20\\_Publications&0](http://www.hexium.hu/index2.html?HUN&downloads&04_Downloads/20_Publications&0)
- [2] Infrared Thermographic Inspection in Aero Space Industry <http://tpu.ru/en/research/research-business/developments/ndtdqipmc/itiasi/>
- [3] Anyagvizsgálók Lapja 2009/3 pp88-89
- [4] R.L. THOMAS, Xiaoyan HAN, and L.D. FAVRO Institute for Manufacturing Research Wayne State University, Detroit, MI 48202, USA Thermal Wave Imaging of Aircraft for Evaluation of Disbonding and Corrosion
- [5] DAVID K. Nondestructive inspection of composite structures: Methods and practice HSU Center for Nondestructive Evaluation Iowa State University Ames, Iowa 50011, USA
- [6] Yoseph BAR-COHEN: Emerging NDE Technologies and Challenges at the Beginning of the 3rd Millennium – Part I, II Jet Propulsion Laboratory, Caltech, (82-105),



Makkay Imre<sup>1</sup>

## ELEKTROMOS HAJTÁSÚ REPÜLŐGÉPEK KONSTRUKCIÓS MEGOLDÁSAI<sup>2</sup>

*Napjainkra kulcsfontosságúvá növekedett – a légi forgalom, az energiaválság, a környezetvédelem együttes hatására - a repülőgépek fedélzetén használt energiaforrás és hajtómű kérdése. A fosszilis üzemanyagok alacsony hatásfokú elégetésekor jelentős a káros anyag kibocsátás, nagy a zajterhelés – ami még a repülőterektől távol élőket is zavarja. Ma a kutatók, fejlesztők a leghőbb vágya a hatékony, tiszta, csendes repülőgép megalkotása – ezért a villamos áramot próbálják a fedélzetre vinni és ott munkára fogni.*

*Az írásmű – néhány jellemző példán keresztül – áttekintést nyújtva a konstrukciós megoldások lehetőségeiről inspiráló gondolatokkal kíván a hazai fejlesztésekhez hozzájárulni.*

### ***ELECTRIC AIRCRAFT CONSTRUCTIONS***

*Today crucial growth - the air traffic, energy crisis, the combined impact of the environment – energy use on board the aircraft and engine issues. The burning of fossil fuels in low efficiency of the significant emission and high noise – even for those who living far away from the airport - to interfere. Today, researchers, developers, the main desire for efficient, clean, quiet aero engine to create - so the electricity board to try and take it to work the gearbox to catch.*

*The article provides an overview of design possibilities and solutions - some typical examples presented – inspiring ideas to serve the domestic research and development efforts.*

## BEVEZETÉS

Amint a 2011-es „Green Flight Challenge” eredményeivel bizonyította, a villamos hajtású repülőgépek már felnőttek arra a szintre, hogy komolyan vehető teljesítmény mutathatnak – 200 mérföldet kevesebb, mint két óra alatt megtettek, miközben jóval kevesebb, mint 33,7 kW/h-t fogyasztottak egy-egy utasra számolva. Mindemellett még maradt is némi áram az akkumulátorokban – a kötelező 30 percre. [1] A hasonló megmérettetések naponta javuló teljesítményeket szolgáltatnak, ami a közlekedés szinte minden résztvevőjének valamilyen járművéig a „zöld vonal” erősödését jelzik – a fosszilis üzemanyagokkal szemben. Már nem az a kérdés, hogy lehet-e elektromos árammal táplálni a repülőgép hajtóművét, sokkal inkább az, hogy milyen alternatív – eddig elképzelhetetlen – hajtási eljárásokat lehet a fedélzeten alkalmazni. A belsőégésű motorok kihajtása hagyományosan forgó mechanizmus. Az elektromos meghajtás más mozgásformákhoz is adaptálható, mint például a lineáris, vagy lengő-billegő hajtások, de a MEMS technológiával akár a szárnyfelületeken terjedő hullámokkal is létrehozható tolóerő.

Az elektromos hajtású repülőgépek két „iskolát” képviselnek – a hagyományos meghajtó

<sup>1</sup> ny. okl. mk. ezds. egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Óvári Gyula ny. okl. mk. alez; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

rendszerek villamosítását és a teljesen új „áram-centrikus” gondolkodás eredményeit. Az előbbi kényelmesnek tűnik és gyors sikert (vagy ellenkezőjét) ígér, a másik út viszont a jövő-kép formálását és a bátrabb fejlesztők inspirálását nyújtja a többletmunkáért cserébe.

## AZ ELEKTROMOS HAJTÁSÚ REPÜLÉS ÚTTÖRŐI

Az első napelem hajtású repülőgépet Günter Rochelt professzor alkotta, amely formáját tekintve is szokatlan Canard 2FL ultrakönnnyű vitorlázó gépre épült és mindenképpen inspiráló volt a további fejlesztésekhez. 1983-ban 5 óra 41 percet töltött a levegőben.



1. kép A Solar 1 már 1981-ben napenergiával repült<sup>3</sup>

Rochelt tervezte az első sikeres, emberi erővel hajtott repülőgépet is. Ebben az „iskolában” tanulta meg az igazi könnyű szerkezetek titkát és kapott kedvet a „nappal repüléshez” a műrepülő bajnok Eric Raymond is, aki később megépítette a maga „SunSeeker”-eit. [2] A 247 mérföldes nonstop repülése egyelőre világrekord emellett a 16 600 lábas magassági rekordot is Ő tartja.



2. kép „Sunseeker II” napenergiát használó, pilótával repülő motoros vitorlázó<sup>4</sup>

Az Eric Raymond vezette sikeres törekvés – a nap energiáját felhasználva repülni – a „legzöldebb álmok” közé tartozik. A megoldás egyik kulcsa a hatékony nap-elektromos energia konverzió, a másik a speciálisan erre tervezett kis légellenállású sárkányszerkezet. Eric Raymond több sikeres európai túrarepüléssel [3] bizonyította, hogy a „nappal repülés” egyre közelebb kerülhet a mindennapi gyakorlathoz. A SunSeeker Team ma már a kétszemélyes változaton dolgozik, amelyben – saját fejlesztésű motorjával – részt vesz a szlovéniai Roman Sušnik is.

<sup>3</sup> [http://www.asl.ethz.ch/research/asl/skysailor/History\\_of\\_Solar\\_Flight.pdf](http://www.asl.ethz.ch/research/asl/skysailor/History_of_Solar_Flight.pdf)

<sup>4</sup> <http://www.solar-flight.com/news.html>

Roman Sušnik először vett egy APIS ultrakönnnyű vitorlázót KIT-ben és 2004-ben a friedrichshafeni kiállításon – a „nagyok” mellett – megjelent a kefé motorú APIS EA1-el. Szorgalmasan dolgozott a motor továbbfejlesztésén és 2008-tól már a kefe nélküli EMRAX motorokat gyártja olyan sikerrel, hogy a „nagyok” is tőle vásárolnak. A Pipistrel gyár kétszemélyes Taurusa – a tavalyi friedrichshafeni egyik díjazott – a DG Flugzeugbau és a már a Cessna Aircraft is az Ő motorjait próbálgatja. Több európai egyetemi kutatást/fejlesztést is ellát motorokkal, ahol a hajók, autók elektromos hajtásán dolgoznak. 2012 márciusában megjelent az EMRAX\_UHP motorja, amely 15 kg tömegével és 40 kW folyamatos, 120 kW rövid idejű teljesítményt tud produkálni 2200-as fordulaton – ehhez 320 V-os egyenfeszültséget kell biztosítani. A motor lég-, vagy folyadékűtéssel működik.



3. kép Roman Sušnik készíti Eric Raymond új, kétszemélyes SunSeeker-ének motorját<sup>5</sup>

A másik két szlovén fejlesztő Luka Žnidaršič és apja Matija Žnidaršič először FES – Front Electric Sustainer – a gép orrában működő elektromos hazatérő motorral mutatkozott be, amely egy éven belül Selflauncher – felszálló motorra fejlődött. Mindketten a modellezőként kezdtek, majd a vitorlázó repülésben szerzett több-ezer órás tapasztalat után a litván LAK-17B villamosítása hozta meg a sikert, melyet azóta az olasz Silent 2 is követett.



4. kép FES az Alisport Silent 2 orrában<sup>6</sup>

<sup>5</sup> <http://blog.cafefoundation.org/wp-content/uploads/2010/06/Roman-with-motor.jpg>

<sup>6</sup> <http://www.front-electric-sustainer.com/photo.php>

A „felnagyított modellező légcsavar” az orrkúpban sokkal kevesebb gondot okoz, mint a törzsbe rejtett társaik, amelyeket hosszas nyitogatás után lehet csak üzembe helyezni. A légel-  
lenállás növekedés alig észlelhető – a kinn hagyott futóhoz hasonló zajnövekedést okoz. A  
megoldás más gépek (ASW, ASG, ASH, HPH, JS1, Schempp-Hirth) átalakításához, újak ter-  
vezéséhez is ajánlható. A teljesítménymutatók ígéretesen javulnak - ahogy a videó felvétele-  
ken látható, a Silent 2 FE(SL) már fűről is felszállt [4].

Az európai összefogással megépült „Solar Impulse” is az egyik példája a fizika és a legújabb  
technológia párharcának – melyben az utóbbinak kell folyamatosan javulnia. A gép szárny-  
feszítávolsága megközelíti a Boeing 777 utasszállítótét (61,4 m). A mindössze egy pilótára  
tervezett kabin berendezése – a tömeg csökkentése érdekében – meglehetősen spártai. A fej-  
lesztők terve, hogy 2013-14-ben, öt állomás közbeiktatásával körberepüljék a Földet.[5]



5. kép A „Solar Impulse” 2011. májusban már megtette a Brüsszel-Párizs távolságot<sup>7</sup>

A hatalmas lendülettel fejlődő szlovéniai Pipistrel repülőgépgyár – ahogy az alapító, Ivo  
Boscarol nyilatkozta – kétévi céltudatos fejlesztő munkával építette meg a Pipistrel G4 repü-  
lőgépet és ezzel megnyerte a 2011 októberében rendezett „Green Flight Challenge” versenyt.  
A több NASA versenyen kiválóan szereplő innovatív fejlesztő gárda merész terve – a világon  
először, négyülékes, villanymotorral meghajtott vitorlázó gépet építeni és ezzel az eddigi leg-  
nagyobb megmérettetésen pályázni – sikerhez vezetett. Az éppen csak szériára érett Taurus  
Electro két törzsét házasították és a közöttük elhelyezett – repüléstechnikában eddig példátlan  
teljesítményű – villamos hajtást alkalmazták. A négy pilótaülés – a fejlesztők elképzelése sze-  
rint – alkalmas a hatékony kiképzés céljára is, ahol egy oktatóval egyszerre három növendék  
gyakorolhat. (Ez utóbbin azért lehet vitatkozni – a szerző véleménye.)

A második helyezet eGenius a Stuttgarter Egyetem oktatói, kutatói, diákjai részvételével készült,  
akik egy korábbi Héliumos projekt repülőgépét alakították át akkumulátoros üzemre. A zajmé-  
résen a verseny mindegyik döntőse a 78 dBA limit alatt teljesített. Itt a győztes az e-Genius lett  
59,5 dBA értékkel és elnyerte az Eric Lindberg által alapított, a legcsendesebb repülőnek járó  
LEAP díjat. [6] Összehasonlításként egy ugyanilyen teljesítményű gázturbina ezen a távolságon

<sup>7</sup> <http://www.aviationnews.eu/2011/05/12/1st-international-flight-by-solar-impulse/>

110 dBa-al „szól” – mintegy 16-szorosan meghaladva ezt az értéket. Az emberi fülre a levegőben a 85 dBa feletti nyomás már veszélyes lehet – az ismétlődő akár halláskárosodást okozhat.



6. kép A GFC 2011 győztese a Pipistrel G4 repülőgép<sup>8</sup>

Az eredmények további részletei a CAFE Foundation honlapján [7] és a szerző egy másik írásában [8] is megtalálhatók. A döntő másik két résztvevője nem tudta teljesíteni a minimális 200 pMPG<sup>9</sup> követelményt – ami kizáró tényező volt. Ez utóbbi elgondolkodtató, mert azt jelenti, hogy ezt a szintet már folyékony üzemanyagú hajtóművel nem is lehet teljesíteni?

Valóban, a verseny olyan magas hatékonysági mutatókat követelt, amire csak villamos hajtások képesek. A villanymotorok közel 90%-al hasznosítják az elektromos energiát, míg a belsőégésűek legjobbjai 25% körül. A „titok” az energiahordozó tömegében van. Míg a legjobb LiFePo akkumulátorok 439 Wh/kg –ot, addig az egyszerű autóbenzin 12200 Wh/kg-ot teljesít.[9] Ha tehát elegendő akkumulátort tudunk a fedélzeten magunkkal vinni, akkor „verhetetlenek vagyunk” – hatásfokban. A GFC azt bizonyította, hogy villamos hajtású repülőgépek már felnőttek arra a szintre, hogy komolyan vehető teljesítmény mutatnak – 200 mérföldet kevesebb, mint két óra alatt megtettek, miközben jóval kevesebb, mint 33,7 kW/h-t fogyasztottak egy-egy utasra számolva. Mindemellett még maradt is némi áram az akkumulátorokban – a kötelező 30 percre.

## AZ ELEKTROMOS HAJTÁS TITKAI

Az elektromos hajtás három alapvető elemből áll: energiaforrásból, szabályzó egységből és a motorból. Amint az eddigiekből láttuk, a közdelem minden fronton folyik a könnyebb és ha-

<sup>8</sup> [http://031c524.netsolhost.com/blog1/2011/09/18/21/img\\_6368](http://031c524.netsolhost.com/blog1/2011/09/18/21/img_6368)

<sup>9</sup> 200 pMPG – 200 mérföldet kellett megtenni úgy, hogy személyenként 1 gallon 87 oktános autóbenzinnel ekvivalens energiát lehetett elszámolni



tékonyabb megoldások irányába. Az autóiipar érdeklődése a villamos hajtások iránt számos eredményt áthoz a repülésbe is, de ott a tömeg nem jelent akkora hátrányt, mint egy légi járműnél, és a leállítás is egy forgalmi zavart okoz a legtöbb esetben. Nézzük meg sorra, milyen lehetőségeink vannak és melyek, amiket tovább kell javítanunk.

## Motorok

Az erőátviteli motorok – szinte kizárólag – kefe nélküli, háromfázisú, váltakozó áramúak, melyek forgó mágneses terét a szabályzó egyenáramból állítja elő. A kivitel elég nagy változatosságot mutat, a mágneses tér irányát tekintve lehet axiális és radiális. Az axiálisból egy, vagy több tekerccsört tartalmazó, a radiálisból, pedig belső (inrunner) és külső (outrunner) mágneses gyűrűt tartalmazó fordulhat elő.



7. kép Belső- és külső mágneses gyűrűt alkalmazó radiális motor <sup>10 11</sup>

Ugyanolyan teljesítmény leadására a belső mágneses motorok jellemzően nagyobb, míg a külső mágnesesek alacsonyabb fordulatszámúak – ami összefügg a mágnesek elfordulás tengelytől mért távolságával. Így a belső mágneses motorok az impelleres (ducted fan) hajtásokra, míg a külső mágneseseket a légszavarak lassú, nagy nyomatékú hajtására használják.

Az RC modellezésben radiális motorok néhány év alatt szinte teljesen kiszorították a belső égésű motorokat. A „nitros” világban a motorok indítása, üzemeltetése, gondozása külön „szakma” volt, amibe több év alatt lehetett beletanulni. A mai modellek motorjaival semmi gondja a használójának, csak „tolni kell” a potencióméteren és akár a több(tíz) kilowatt elsza- badul – szinte hangtalanul.

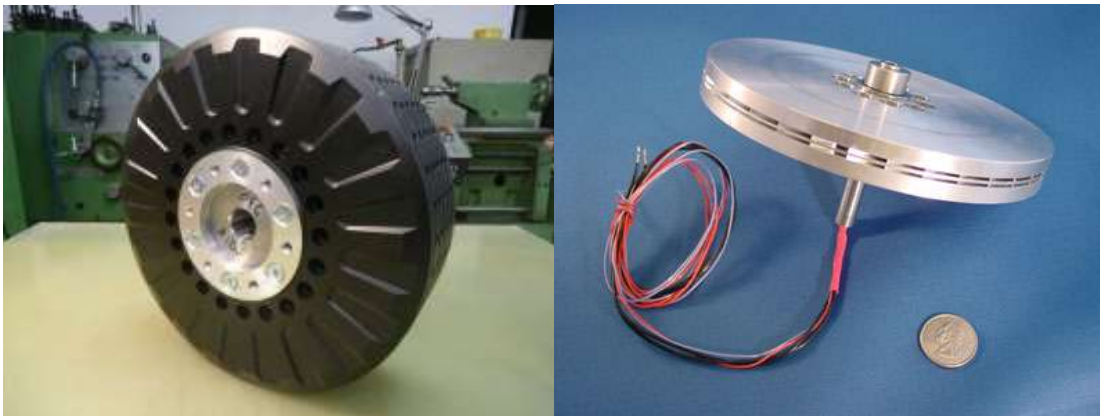
Ez az irigylésre méltó könnyedség, amit a pilótás repülésben is el akarunk érni – és amint a kezdeti sikerek mutatják nem reménytelenül.

Az axiális motorok még nem annyira elterjedtek – ennek ellent mond, hogy éppen ilyen az a 12kg-os EMRAX, amit Roman Sušnik cége az Enstroj [10] kínál. Hasonlóan különleges a

<sup>10</sup> <http://blog.cafefoundation.org/?p=3303>

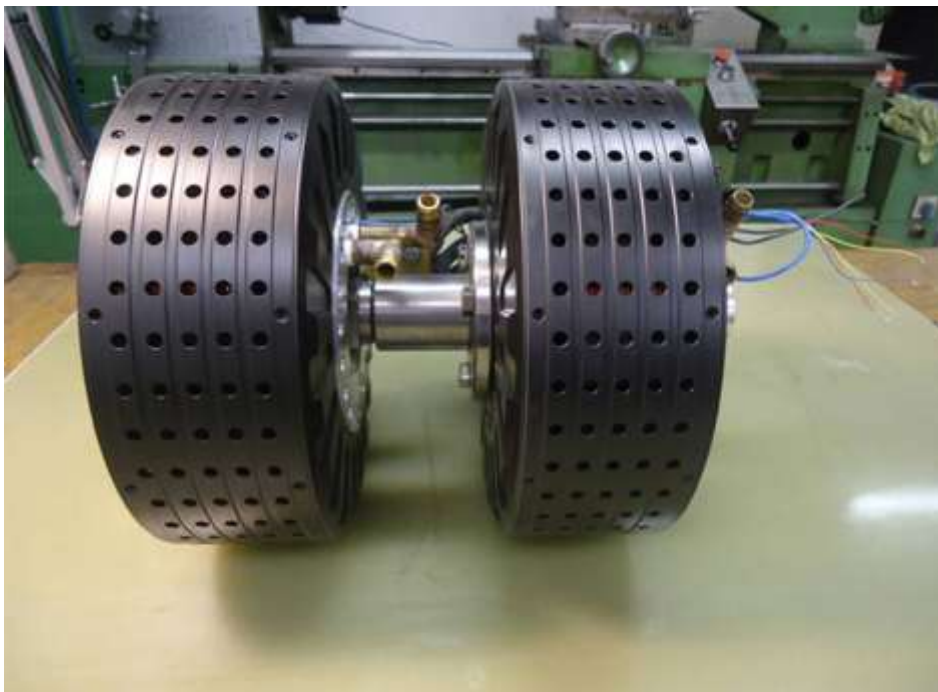
<sup>11</sup> <http://www.forschungsbuero.de/html/elektromotoren.htm>

Launch Point technologies Halbach Array motorja, amelyik 0,7 kg tömeggel 7 LE-t tud termelni 8700 percenkénti fordulatszám mellett. (Emlékeztetőül a jó boxer repülőmotorok alig tudják az 1 kg/LE tömeg/teljesítmény arányt tartani.)



8. kép A 30/60kW-os EMRAX motor és a LaunchPoint 7 LE-s prototípusa <sup>12 13</sup>

Az előbbi a közvetlen légcsvarhajtást áttétel nélkül tudja biztosítani, míg a DARPA<sup>14</sup> megrendelésre készült utóbbi inkább csak a nagy teljesítménysűrűség bizonyítására szolgál. Az axiális motorok egy, vagy két légréssel készülnek, de ha nagyobb teljesítmény szükséges, akkor többet egy tengelyre lehet „fűzni”. Ezt a lehetőséget használja ki az EMRAX TWIN is.



9. kép Az EMRAX TWIN – két vízhűtéses motor párhuzamosan kötve <sup>15</sup>

A párhuzamos üzem természetesen kiforrott vezérlést igényel, amire az egyenletes terhelés elosztás érdekében itt nagy szükség van.

<sup>12</sup>[http://img.mfrbee.com/photo/v2/108766837/EMRAX\\_up\\_to\\_60kW\\_electric\\_motor\\_%28weight%3A\\_11kg%29.jpg](http://img.mfrbee.com/photo/v2/108766837/EMRAX_up_to_60kW_electric_motor_%28weight%3A_11kg%29.jpg)

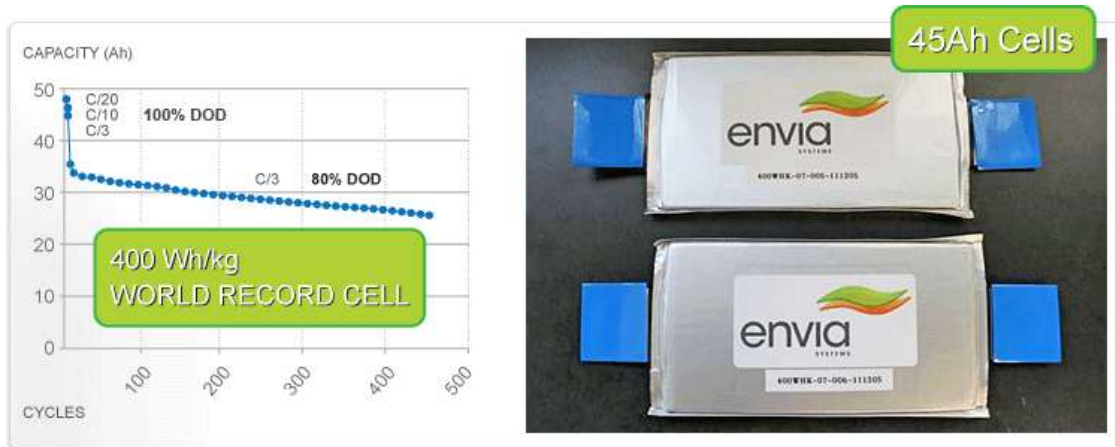
<sup>13</sup> <http://ww1.prweb.com/prfiles/2009/09/17/1925464/DARPAmotorprototype.jpg>

<sup>14</sup> DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency, azaz *Fejlett Védelmi Kutatási Projektek Ügynöksége*

<sup>15</sup> [http://www.enstroj.si/images/stories/emrax\\_motors\\_twin.jpg](http://www.enstroj.si/images/stories/emrax_motors_twin.jpg)

## Akkumulátorok

Ha a motorok már (szinte) elérték a kívánt tömeg/teljesítmény viszonyt, az energiatárolókra még sok „javulnivaló” vár. Bár az igazi pioneer-ok még NiCd akkumulátorokkal kezdtek repülni és azokhoz képest a mai 40-65 C-s LiPo-k csodának számítanak – mégis, az élen járó Envia is „csak” 400 Wh/kg-ot tud produkálni.



10. kép Az Envia 45 Ah-s LiIon akkumulátora

A Pipistrel Taurus G2 – a G4 ikerpáros egyik tagja – a mintaszerű gyár szelleméhez híven az akkumulátorokat is rendkívüli felügyelettel kezeli. A Luka Žnidaršič -al közösen fejlesztett ESYS-MAN folyamatosan indikálja a motor és a telepek hőmérsékletét, a töltöttségi állapotot, a fordulatszámot és az elektromos rendszer leadott teljesítményét, állapotát. Egy szabványos műszerházban helyezkedik el és mindössze két kapcsolót (Be/Ki és motor fel/le) és egy forgatógombot (motor fordulatszám beállítás) tartalmaz. A műszer nem csak indikál, ha szükséges be is avatkozik – pl. ha a motor, vagy valamelyik akkumulátor túlmelegszik - csökkenti a motor fordulatszámát.



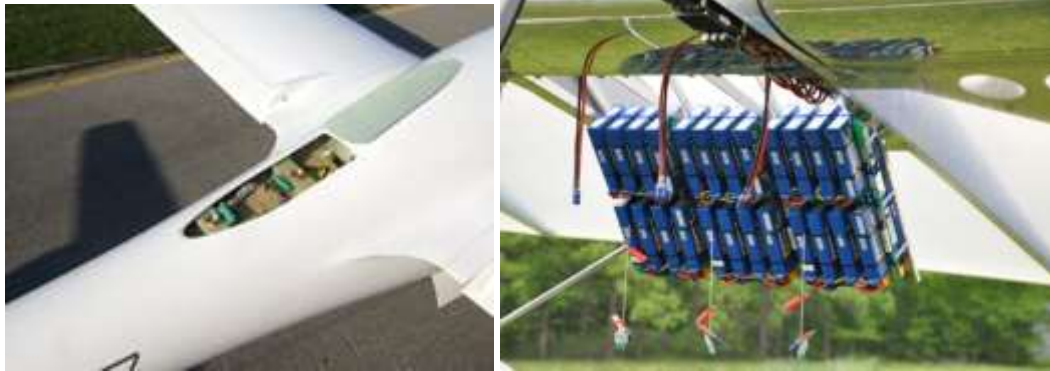
11. kép. A Pipistrel Taurus Electro G2 egyik akkumulátora és az ESYS-MAN<sup>16 17</sup>

A gyártók a számítógép ipar és a modellezők nagy tábora számára kedveznek – viszonylag kis, néhány Ah kapacitású akkumulátorokkal tömegével árasztva el a piacot, ahol aztán kü-

<sup>16</sup> <http://www.pipistrel.si/photo/6659>

<sup>17</sup> <http://www.pipistrel.si/photo/6574>

lőnböző néven kapható szinte ugyanaz. Az autóipar a LiFePo –t a számítógépek a LiIon –t , a modellezők a LiPo -típust kedvelik. Az E-repülőkbén a 40 Ah-s Kokam-tól egészen a 5-6 Ah-s Zippy nevű nagyon kedvező árú celláig szinte minden megtalálható. A különbség talán a kisebbek javára mutat kedvező tendenciát – azok jobban „kapaszkodnak”, javul a terhelhetőségük, csökken az áruk, míg a „nagyok” alig változnak.



12. kép A 28 db 40Ah-s Kokam a Lak-17 FES fedélzetén és 96 db 5 Ah-s Zippy a Lazair szárnyai alatt <sup>18 19</sup>

Az elmúlt évben az Oshkosh-i repülő show-n két új elektromos konverzió is megjelent, az egyik volt Dale Kramer 30 éves kétmotoros Lazair-je, amit a szárnyakba (nagyon szépen) összedrótózott modellező akkumulátorokkal és két villanymotorral frissített fel. A repülőgép ráadásul úszó talppal is fel volt szerelve – a délelőtti száraz bemutatót követően délután a tóról is felszállt. [11][12]

Hasonló nagy visszatérő Mark Beierle, aki az egyébként is sikeres Gull 2000 gépét „díszítette fel” egy E- jelzővel – és naponta bemutatót repült, tüntetően mindig a füves pályáról. [13][14] A további érdekesség, hogy az E-Gull 2000 motorját az a Thomas Senkel építette [15] aki 2011 októberben elsőként repült modellmotorokkal megépített multicopterrel. [16] Amint látható, az akkumulátorokat Ő is a modellezőktől „kölcönözte”.



13. kép Thomas Senkel első repülése a modell-motorokkal<sup>20</sup>

<sup>18</sup> <http://www.front-electric-sustainer.com/technology.php>

<sup>19</sup> <http://static.rcgroups.net/forums/attachments/3/6/4/8/9/a4053202-116-Open%20Batts%20-%20CLOSE.jpg>

<sup>20</sup> <http://e-volo.com/Prototype.html>

## Szabályzók

A motoroknak szánt villamos energiát át kell alakítani, mégpedig egyenáramból háromfázisú váltakozó árammá – ami nem óriási feladat, de vannak ennek is „titkai”. A legszembetűnőbb az, hogy egyes (általában nagyobb) motorokon vannak külön szenzorok, amelyek jelzik a forgórész helyzetét, míg a többség e-nélkül is (látszatra) jól működik.

A modellezőknek szánt nagyáramú szabályzókat már többen használják az elektromossá konvertál repülőgépekben, aminek az anyagiak mellett még az is lehet oka, hogy tényleg egyre jobbak – különben a nagy túlkínálatban nem veszik meg.

A profi hajtások – ahol minden másodperc számít, minden információ fontos – a szabályzást is a motor szenzorok alapján végzik. Ilyen az új EMRAX, amelyik a kihajtással szemben egy Resolvert visel, ami a pólusai számával megegyező „kicsinyített” mása – de generátor – és így a forgórész helyzete nagyon pontosan ismert lesz. A terhelésfüggő szabályzásnak éppen ez a módja, hogyha a forgórész még fázisban van, de a terhelés hatására kezd lemaradni, akkor a szabályzó jel elkezd siettetni. Ezzel megakadályozható, hogy a leterhelt forgórész csússzon a tápláló jel frekvenciájához képest.



14. kép Az EMRAX motorok 2011. szeptembertől már Resolverrel szerelve jönnek ki<sup>21 22</sup>

A szabályzók illesztése az adott motorhoz, akkumulátorhoz sok tudást és tapasztalatot igényel. A repülőmotorok terhelési mutatói elég jól ismertek – fékpadokon jól rekonstruálhatók és a szabályzók felépítése és működése is ezekhez igazítható.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

Az elektromos hajtás most kezdi felfelé ívelő pályáját, aminek a kutatók, fejlesztők adják az ívét és természetesen a gyártók, kereskedők, sőt a vásárlók is érdekeltek a sikerben. A technológia szűk keresztmetszeteiből megemlítve párat úgy gondoljuk érezhető, mennyi feladat vár még ránk és az is, hogy megoldásuk nem lehetetlen. A „global village” közelebb hozza az embereket, már „átlátunk” a tengereken, értesülünk mások eredményeiről – feltehetően Ők is

<sup>21</sup> <http://www.enstroj.si/News/emrax-motor-with-resolver-application.html>

<sup>22</sup> <http://www.enstroj.si/News/emrax-motor-with-resolver-application.html>

a mieinkről. A „Green Flight Challenge” és a hasonló megmérettetések naponta tárnak fel új utakat és megoldásokat. A legnagyobb feladat most a villamos energia megfelelő hatásfokú előállítás – a fedélzeten. A jelenlegi energiátárolók korlátai lassan, de szélesednek, minde mellett forradalmi javulás szükséges a fotoelektromos átalakítók terén is.

A nagy távolságok tiszta, csendes átrepülése a közeljövőben már elérhetővé válhat – a repüléstechnika fejlődése ebbe az irányba mutat – a hogyan, miként kérdésekre nekünk is kell keresni a választ. Az elektromos hajtású repülőgépek lehetőségeit, egyes megoldásait az egyetemi kutatásban, oktatásban is hasznosítva próbáljuk közkinccsé tenni. Ennek eredményeiről a tudományos fórumokon adunk számot – a munka ütemének megfelelően.

Bátoríthat bennünket az a tény, hogy a nagy eredmények nem feltétlenül csak nagy és tehetős országokban születnek – mint azt szlovéniai példákából is láthattuk. A mi országunk, egyetemünk sem szűkölködik tehetségekben, a kihívás, pedig itt van előttünk, tehát ahogy Eric Raymond is mindig mondja –

„REPÜLJÜNK NAPPAL”!

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] [http://cafefoundation.org/v2/gfc\\_main.php](http://cafefoundation.org/v2/gfc_main.php)
- [2] <http://solar-flight.com/>
- [3] <http://www.solar-flight.com/news.html>
- [4] [http://www.youtube.com/watch?v=zRQvwst-hTE&feature=mfu\\_in\\_order&list=UL](http://www.youtube.com/watch?v=zRQvwst-hTE&feature=mfu_in_order&list=UL)
- [5] <http://www.eumozaik.hu/trendi/technika/solar-impulse-napelemekkel-foeld-koeruel>
- [6] <http://blog.cafefoundation.org/?p=4522>
- [7] [http://cafefoundation.org/v2/gfc\\_2011\\_results.html](http://cafefoundation.org/v2/gfc_2011_results.html)
- [8] Makkay Imre, „Green Flight Challenge” – egy igazi kihívás a repülésben, Repüléstudományi Közlemények 2012. április. 12. Különszám Paper online. p.9 (2012) – kézirat
- [9] [http://wiki.xtronics.com/index.php/Energy\\_density](http://wiki.xtronics.com/index.php/Energy_density)
- [10] <http://www.enstroj.si/>
- [11] <http://www.youtube.com/watch?v=bBeJAXf7eCo&noredirect=1>
- [12] <http://www.youtube.com/watch?v=YINO0aoSAGg>
- [13] <http://www.youtube.com/watch?v=lEqz0rSZ0v8>
- [14] <http://www.youtube.com/watch?v=JPEgxxNi6lo>
- [15] <http://www.youtube.com/watch?v=PXI5d0Aws0Y>
- [16] <http://www.youtube.com/watch?v=L75ESD9PBOW>



Makkay Imre<sup>1</sup>

## „GREEN FLIGHT CHALLENGE” – EGY IGAZI KIHÍVÁS A REPÜLÉSBEN<sup>2</sup>

A kisépés repülés egyik legnagyobb jelentőségű eseménye volt a 2011-ben a NASA<sup>3</sup> és a CAFE Foundation<sup>4</sup> által megrendezett „Green Flight Challenge” - GFC”, ahol a 200 mérföld megtételére mindössze 1 gallon üzemanyagot lehetett utasonként elszámolni és a légi jármű sebessége sem maradhatott az átlagos 100 mérföld/óra alatt. A 14 jelentkezőből a csak két team maradt talpon. A GFC következő, két év múlva esedékes versenyére azok jelentkezhetnek, akik – az elsőben foglalt követelményeken túl – „zsebrendőnyi” területet használnak majd a fel- és leszállásra és közöttük a leggyorsabb és „legzöldebb” számíthat a nem kis összegű – 1,65 millió \$-os fődíjra. A zaj az első számú ellenség ezért a belső égésű motorokkal, gázturbinákkal aligha lehet megfelelni a szigorú követelményeknek – marad az elektromos meghajtás, amely napjainkban a járműipar legdinamikusabban fejlődő területe. A cikkben a GFC céljait és a megoldások lehetséges alternatíváit ismertetve ötleteket, javaslatokat próbálunk megosztani – remélve, hogy ezzel további hasznos gondolatokat ébresztünk és tápláljuk az alkotói fantáziát.

### THE “GREEN FLIGHT CHALLENGE” – IS THE REAL TRIAL IN AVIATION

The one of the most important happening of general aviation in 2011 was the „Green Flight Challenge - GFC” organized by NASA and CAFE Foundation, where the air vehicles should take 200miles distance no less than 200 passenger miles pro gallon at average speed no less than 100 miles pro hour. From 14 competitors only two stayed a final. The next GFC after two years will receive them who – besides requirements of first – able to take off and landing in „pocket airports” and who is the fastest and the „greenest” can be candidate for solid – 1,65 million \$ prize. The noise is the first enemy that means with internal combustions or gas turbines almost impossible fulfill the strict regulations – so the electric propulsion is only the last hope, what is the most dynamic area of transport vehicles. In this article we are introducing the goals and possible solutions of GFC – hoping for following useful thinking and feeding creative fantasy.

## BEVEZETÉS

Az élhető környezet kialakítása, megőrzése az egész világon olyan, egyre feszültebb viszonyok közepette történik – gazdasági válság, ökológia zsákutcák, energiahordozók versenyfutása – amelyben a közlekedés az egyik legfontosabb minőségi mutató. A járműiparban a repüléstechnika eredményei a legszembetűnőbb jelenségek közé sorolhatók – akár megelőzve az autókat, amelyek új és legújabb modelljei között alig találunk számottevő (műszaki) külön-

<sup>1</sup> ny. okl. mk. ezds. egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Óvári Gyula ny. okl. mk. alez; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

<sup>3</sup> National Aeronautics and Space Administration - Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Légügyi és Űrhajózási Hivatala

<sup>4</sup> Comparative Aircraft Flight Efficiency Foundation – Repülőgépek Repülési Hatékonyságát Összehasonlító Alapítvány

<sup>5</sup> Green Flight Challenge – „Zöld Repülés Kihívás”

séget. Az utak forgalma már annyira az elviselhetőség határán tetőzik, hogy szinte mindegy milyen teljesítményű, extrákkal-, komforttal felszerelt gépkocsiban „dugózunk”. „Közlekedni, pedig kell!”- a régi mondást idézve, de nem mindegy mennyi időt és energiát áldozunk rá.

A 2009-ben meghirdetett „Green Flight Challenge” három évvel később demonstrálta, hogy létezik elegendő műszaki és innovatív tudás a korábban futurisztikusnak ható igények kielégítésére. A gazdasági haszon, amit a fosszilis üzemanyagok előállítása és kereskedelme jelent, kezd kevésbé meghatározó szerepet betölteni, a „zöld” energiák, pedig vonzzák az új befektetőket és a felhasználókat.

A NASA „hivatalból” az új, hatékony energiaforrások, és a repüléstechnika ezekhez illeszkedő alkalmazásait kutatja, támogatja. Az űrkutatásban folyó nagy verseny amerikai résztvevője, hatalmas szellemi és anyagi potenciál birtokában egyre nagyobb súlyt fektet arra, hogy az elért tudományos és műszaki eredmények minél szélesebb körben átkerüljenek a gyakorlati élet – űrkutatástól távol eső – területeire is. Az eddig legnagyobb, repülésért járó díjat is ennek szellemében ajánlották fel a repülés „amatőrjei” számára, akik a világ minden tájáról pályáztak a nagyon kemény feltételeket szabó versenyben. A következő forduló még nagyobb kihívást ígér, hiszen a „belépő” után – ami a 2011 évi kötelező limit volt – a versenyzőknek mindezt még rendkívül rövid fel- és leszállási úttal és nagyon alacsony zajszinttel kell teljesíteni.

A „Green Flight Challenge”-ek a repülés műszaki fejlesztői számára nagy kihívást, szép feladatokat jelentenek, azoknak, pedig akik ennek hasznát látják a repülés kényelmét, biztonságát és elviselhetőbb környezetét fogják nyújtani. A bemutatással a cél a figyelem felkeltése és – elnyerve az olvasók támogatását – ösztönözni a hasonló kihívások legyőzésére.

## A „GREEN FLIGHT CHALLENGE” SZERVEZÉSE

A repülőgépek számára az első, de nem egyetlen kihívás a Föld gravitációs vonzásának legyőzése. A légkörben manőverezni, meghaladni a légellenállást, kivédeni a turbulens áramlatokat, meteorológiai jelenségeket – ez a napi megmérettetés melynek minden repülő szerkezetnek meg kell felelnie. Arra a kérdésre, hogy a várható - a tudomány által eddig megismert – hatásoknak képes-e az adott repülőgép ellenállni a CAFE Foundation mérései tudnak választ adni.

A CAFE Foundation a kaliforniai Windsor városban működő nonprofit vállalkozás, amely gyökerei a 70-es évek végén az EAA – Experimental Aircraft Association 124 Chapter által támogatott versenyek szervezéséig nyúlnak vissza, ahol a legkisebb üzemanyag felhasználás volt a megmérettetés tárgya. Az évente rendezett versenyeken a kisép közforgalomi repülés résztvevői bizonyíthaták az akkor felállított formula szerint:

$$v \cdot \text{MPG} \cdot W \quad (1)$$

Ahol:  $v$  - átlagsebesség mérföld/órában (1,6 km/ó) a meghatározott távolságon,

MPG - mérföld (1,6 km) / gallon (3,8 l) üzemanyag

W - a kabin hasznos terhelése font-ban (0,454 kg)

A CAFE Foundation versenyein használt mérési elveket és berendezéseket (a kutatói által kifejlesztett nagypontosságú sebesség-, hőmérséklet-, tömeg-, nyomás-, frekvencia- és zajmérő rendszereket) az EAA is elismerte és a kisép műszaki tanúsítványokat kiadásánál a hite-



lesített mérésekhez alkalmazta. A Sonoma Country Airport lett az állandó CAFE Flight Test Center, ahol 1993 óta a repülőgépgyártók és tulajdonosok a gépeiket ellenőriztethetik és minősíttethetik. Az EAA minősítés jó referencia a gyártók, kereskedők számára és a CAFE Foundation reputációja az AOPA<sup>6</sup> részéről is igen magas szintű – aminek köszönhető, hogy a NASA elfogadta a „Green Flight Challenge” társszervezőjének. A CAFE Foundation honlapján [1] megtalálhatók a 40 éves tevékenység főbb állomásai, eredményei, ugyanígy az utóbbi GFC 2011 részletes beszámolója.



1. kép. A CAFE Foundation vezetői mind elismert repülő és műszaki szakemberek<sup>7</sup>

Az alapítvány a NASA-val karöltve egy meglehetősen körülhatárolt, részletes követelmény-rendszert [2] dolgozott ki, amelyre 2009 július 10-től várták a jelentkezőket. Néhány kiegészítő hivatalos értesítő jelent még meg „GFC Field of View Requirements” 2009. 12. 27.[3] , „CAFE Energy Committee GFC Energy White Paper” 2010. 12. 20. [4], „CAFE 2011 Green Flight Challenge Revised Prize Structure” 2011. 06. 30. [5].

A versenykiírás (49 oldal) pontosan leírja a résztvevők és a rendezők jogait, kötelességeit, a részvétel feltételeit és az elbírálás módját. Ha valaki már 2009 december 31-ig esélyt érzett a sikerre és regisztrált 4000\$-ért megtehetette, 2010 júliusban 6000\$-ba került, az utolsó lehetőség, pedig 2010 december 31 volt, de ekkor már 8000 \$-os volt a számla.

Néhány fontosabb részlet a kiírásból:

Fődíjként 1 500 000 \$ adható annak az egy résztvevőnek, aki a nagyobb, mint 100 mph (mér-föld/óra) és nagyobb, mint 200 Passenger-MPGe (utas-mér-föld/gallon ekvivalens) feltételt teljesítők közül a legmagasabb pontszámot éri el az alábbi képlet alapján:

$$X = \frac{1}{\frac{1}{\text{mph}} + \frac{2}{\text{P-MPGe}}} \quad (2)$$

<sup>6</sup> AOPA – Aircraft Owners and Pilots Association (Repülőgép Tulajdonosok és Pilóták Szervezete)

<sup>7</sup> [http://cafefoundation.org/v2/aboutcafe\\_main.php](http://cafefoundation.org/v2/aboutcafe_main.php)

Távolság	200 mérföld – 30 percre elegendő tartalékkal, VFR, $\geq 4000'$ nem hegyes, ritkán lakott terep fölött
Hatékonyság	$\geq 200$ P-MPGe energiának megfelelő
Átlagsebesség	$\geq 100$ mph
Minimális sebesség	$\leq 52$ mph szinten repülve, átesés nélkül, hajtómű és fékszárny megengedett
Felszállási úthossz	$\leq 2000'$ a fékoldástól az 50' magas akadály fölött
Keltett zaj	$\leq 78$ dBa teljes hajtómű teljesítménynél a fékoldástól 75 méterre a pálya mellett mérve
Utások	6 ft magas 200 lb súlyú felnőtt
Szárny fesztáv	be kell férnie a 44 ft széles hangárba – felhajtható szárny elfogadott
Tömeg	$\leq 6500$ lb.
Kilátás	FAA FC25.773-1 szerint
Kezelő szervek	kettőzött – amennyiben kétfős a személyzet
Hasznos teher	200 lbs ülésenként, az üres ülésbe 200 lbs homokzsák
Ülések	tandem megengedett, de három, vagy annál több ülésből kettő egymás mellett van
Üzemanyag/energia felhasználás	1 gallon olmozatlan 87 oktános autóbenzin = 115 000 BTU
Megengedett üzemanyag	AVGAS 100 LL, Jet-A, diesel, olmozatlan autóbenzin, bio-üzemanyag, Hidrogén, szintetikus üzemanyag, elektromosság
Elektromos mérés	elektromos hajtású repülőgépeket a CAFE által biztosított eszközökkel mérik
Repülési alkalmasság	érvényes US FAA repülési alkalmasság
Pilóta kvalifikáció	FAA „experimental”, BFR, 500 óra repült idő, 10 óra a típussal
Jogosultság	a team vezetője USA állampolgár, vagy állandó lakos legyen

1. táblázat A GFC 2011 fontosabb követelményei

Az elhasznált üzemanyag energiatartalmának megfelelő MPG<sub>e</sub> számítások adták az értékelés egyik mutatóját. Az egyre több elektromos és vegyes hajtású jármű energiafelhasználásának mérésére kidolgozott átszámítási rendszerben egy gallon 87 oktános autóbenzinnek (115 000 BTU<sup>8</sup> -val számolva) 33,705 kWh villamos munka felel meg.<sup>9</sup>

A GFC 2011 a hatékony energiafelhasználás mellett egy másik, szintén komoly kihívással állította szembe a résztvevőket – ami a zaj-teszt volt. A zaj a repülés aerodinamikai velejárója – még a szúnyog röptét is meghalljuk akár 3 méterről. (Innen ered az akusztikai méréseknél használt dBa alapértéke a 20  $\mu$ Pascal ami, egyenlő az emberi hallásküszöbvel. Ennél „csendesebb” jelet már úgysem hallunk meg.)[6] A madarak szárnycsapása is jól hallható – hát még a „gyenge utánzat” a légszavár amint néhány négyzetméternyi felületen a levegőbe kapaszkodva próbál maga mögé taszítani sok-sok köbméter levegőt. A hang magassága összefügg a légszavár méretével és fordulatszámával. Ugyanakkora tolóerőt el lehet érni nagy fordulatszámú rövid, és lassabban forgó hosszabb légszavarral. Az „ökölszabály” szerint a repülőgép sebességéhez képest legfeljebb ötszörösre felgyorsított levegőtömeeggel célszerű a hajtást megoldani. Emiatt is igyekeznek a konstruktőrök a lehető legnagyobb méretű és azon belül is a legkisebb turbulenciát okozó légszavarokat alkalmazni. A gázturbinák ilyen szempontból (is) hátrányosak, hiszen nagy fordulatszámú lapátokkal, viszonylag kis átmérőjű nyíláson préselik ki

<sup>8</sup> British thermal unit – energiaérték 1055 Joules <http://en.wikipedia.org/wiki/BTU>

<sup>9</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Miles\\_per\\_gallon\\_gasoline\\_equivalent](http://en.wikipedia.org/wiki/Miles_per_gallon_gasoline_equivalent)

a levegőt. A GFC versenyzői között – ezért sem – találtunk gázturbinás gépet.

A motorok kipufogó gázainak hangjáról eddig nem is esett szó – pedig a vasárnap délutáni szendérgésből a fölöttünk elrepülő CESSNA 1xx –nek nem a légsavarhangja szokott felriasztani. A közforgalmi repülőmotorok kipufogó rendszere tipikusan „teljesítmény-centrikus” – például egy rövid cső (lefelé, hogy a pilóta szemébe ne menjen a füst) – természetesen vannak üdítő kivételek.



2. kép A GFC 2011 második helyezett és egyben LEAP nyertes e-GENIUS<sup>10</sup>

A GFC 2011 verseny mindegyik döntőse 78 dBA limit alatt teljesített. A győztes az e-Genius lett 59,5 dBA értékkel és elnyerte az Eric Lindberg által alapított, a legcsendesebb repülőnek járó LEAP díjat. [7] Összehasonlításként egy ugyanilyen teljesítményű gázturbina ezen a távolságon 110 dBA-al „szól” – mintegy 16-szorosan meghaladva ezt az értéket. Az emberi fülre a levegőben a 85 dBA feletti nyomás már veszélyes lehet – az ismétlődő akár halláskárosodást okozhat.

A hatalmas lendülettel fejlődő szlovéniai Pipistrel repülőgépgyár – az alapító, Ivo Boscarol nyilatkozata alapján – kétévi céltudatos munkával nyerte el a megérdemelt GFC első helyezést. A több NASA versenyen kiválóan szereplő innovatív fejlesztő gárda merész terve – a világon először, négyülékes, villanymotorral meghajtott vitorlázó gépet építeni és ezzel az eddigi legnagyobb megmértetésen pályázni – sikerhez vezetett. Az éppen csak szériára érett Taurus Electro két törzsét házasították és a közöttük elhelyezett – repüléstechnikában eddig példátlan teljesítményű – villamos hajtást alkalmazták. A négy pilótaülés – a fejlesztők elképzelése szerint – alkalmas a hatékony kiképzés céljára, ahol egy oktatóval három növendék gyakorolhat. (A szerző ez utóbbit csak bizonyos korlátozásokkal fogadja el.)

<sup>10</sup> <http://lindberghprize.org/wp-content/uploads/2011/10/LEAP-and-e-Genius-at-NASA-awards.jpg>



3. kép A GFC 2011 győztese a Pipistrel G4 repülőgép<sup>11</sup>

Név	Pipistrel-USA	e-Genius
Csapatvezető	Jack Langelaan	Eric Raymond
Pilóta	Dave Morss, Robin Reid	Eric Raymond, Klaus Ohlmann
Ülések száma	4	2
Szárny fesztáv	69 feet 2 inches	55feet 5 inches
Üres tömeg	2490,8 lb.	1670,2 lb.
Verseny tömeg	3294,1 lb.	2070,2 lb.
Teljesítmény	194 HP 145 kW	80,4 HP – 60 kW
Energiaforrás	elektromos	elektromos
Megtett távolság	200 miles +	200 miles +
Átesési sebesség	< 52 mph	< 52 mph
GFC sebesség	113,7 mph	107,4 mph
GFC pMPG	403,5 pMPG	375,8 pMPG
GFC zajszint	71,1 dBa	59,5 dBa

2. táblázat A GFC 2011 első két helyezettjének eredményei [8]

A kéttörzsű repülőgépek előnyei a kétmotoros változatoknál jelentkeznek – itt feltehetően a nagyobb ülészámhoz kapcsolódó P-MPG volt az indító ok, amit a „polcra levehető” kitűnő

<sup>11</sup> [http://2.bp.blogspot.com/-\\_Sb2fIXisH8/TpNnI-y3HHI/AAAAAAAAABFU/UMaW605cpDU/s1600/pipistrel+g4.jpg](http://2.bp.blogspot.com/-_Sb2fIXisH8/TpNnI-y3HHI/AAAAAAAAABFU/UMaW605cpDU/s1600/pipistrel+g4.jpg)



Taurusok tovább inspiráltak. Az összeépített vitorlázó repülőgépek a verseny során az elvárt teljesítmény több mint kétszeresét érték el. Kimagasló eredményt mutatott az ezt megközelítő e-Genius is – bizonyítva ezzel a Stuttgarter Egyetem kutató-fejlesztő csapatának sikerét, akik más úton közelítve (egy korábbi Héliumos projekt átdolgozásával) az élvonalba kerültek. Mindkét csapat sikeres úttörő munkát végzett – nem elfeledve, hogy a döntőben részt vett és az oda be nem kerültek is hasonlóan új utakat jártak és erőfeszítésük nagyra értékelendő.

Az eredmények további részletei megtalálhatók a CAFE Foundation honlapján [9]. A döntő másik két résztvevője nem tudta teljesíteni a minimális 200 pMPG követelményt – ami kizáró tényező volt.

Ez utóbbi elgondolkodtató, mert azt jelenti, hogy ezt a szintet már folyékony üzemanyagú hajtóművel nem is lehet teljesíteni? Valóban, a verseny olyan magas hatékonysági mutatókat követelt, amire csak villamos hajtások képesek. A villanymotorok közel 90%-al hasznosítják az elektromos energiát, míg a belsőégésűek legjobbjai 25% körül. A „titok” az energiahordozó tömegében van. Míg a legjobb LiFePo akkumulátorok 439 Wh/kg –ot, addig az egyszerű autóbenzin 12200 Wh/kg-ot teljesít. [10] Ha tehát elegendő akkumulátort tudunk a fedélzeten magunkkal vinni, akkor „verhetetlenek vagyunk” – hatásfokban. A GFC azt bizonyította, hogy villamos hajtású repülőgépek már felnőttek arra a szintre, hogy komolyan vehető teljesítmény mutatnak – 200 mérföldet kevesebb, mint két óra alatt megtettek, miközben jóval kevesebb, mint 33,7 kW/h-t fogyasztottak egy-egy utasra számolva. Mindemellett még maradt is némi áram az akkumulátorokban – a kötelező 30 percre.

## HOGYAN TOVÁBB GFC?

Az már látható, hogy a hatótávolságot – a jelenlegi villamos energiahordozókkal – nem lehet túlságosan megnövelni, a bő két órára elegendő akkumulátor tömege és a repülőgép terhelhetősége éppen a határon van. A 200 mérföld így is szép távolság – különösen, ha ettől közelebbi városok közötti autóforgalom enyhítésére gondolunk. A CAFE Foundation korábbi NASA támogatású PAV – Personal Air Vehicle és SATS – Small Aircraft as a Transportation System sikeres kutatási programjaiban már kidolgozta a kereteit egy automatizált légi forgalmi szegmensnek, amely a néhány fős légi járművek városok közötti közlekedésére szolgál.

A GFC győzteseinek eredménye esélyt ad arra, hogy a következő megmérettetéseket már erre épülő újabb feltételekkel ösztönözzék. A GFC II. célkitűzése lehet a „GQ V/ESTOL” [11] repülőgép, amelyhez a városi, vagy ahhoz nagyon közeli „zseb-repülőtér” is elegendő. A CAFE Foundation elnökének Brien A. Seeley-nek 2010 novemberben írt tanulmánya „Faster and Greener – Pocket Airports” ennek terveit és ötleteit tárja elénk. A CAFE által összefogott kutatási projektek eddigi eredményei és elérendő céljai is szerepelnek a felsorolásban. A NASA támogatás összegét tovább emelné –hangsúlyozva az alapító csak a sikeres pályázóknak fizet.

A GQ V/ESTOL jelző a „zöldebb”, csendesebb, függőlegesen, vagy nagyon rövid pályán felszállni képes légi járművet takarja – lehetővé téve a kis, „zöld”, 125 méteres repülőterecskék igénybe vételét. A pilóták már használhatnák a „kötött pályás” közlekedés szolgáltatásait – azaz a légi irányítás információival összehangolt robot lenne képes vezetni a légi járműveket az utas beszállásától a kiszállásáig. Ugyanígy fontos szerepet szán az ütközést automatikusan

elkerülő eljárásoknak és a mentő rendszereknek

A hatékonyságot és biztonságot növelő számos innovatív megoldás szerepel az ajánlásokban – közöttük a repülőtéren gurulásokat a főhajtóművek használata nélkül biztosító elektromos kerékagymotorok alkalmazása. (A tanulmány megjelenése óta már több nagy utasszállító repülőgép gyártó kezdte meg a gépei orrfutóinak ilyen átalakítását.)

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A XXI század a közlekedési eszközök és lehetőségek „tetőzését” sejteti – a hagyományos földi-, vízi és légi járművek alkalmazása során. Az útkeresés élenjárói a légi járművek új generációjában látnak kiutat, amelyek a városok között lépésben haladó „másfél személyes autót” kiváltanák.

A Green Flight Challenge – híven a NASA és a CAFE Foundation hagyományosan előremutató, bátor kísérleteihez – egy jelentős példával szolgálta a világ kutatóinak, gyártóinak innovatív hajlamát, bizonyítva, hogy néhány év alatt egy új minőségű repülő technika fejleszthető ki, amely a korábban elképzelhetetlennek vélt hatékonysággal és környezetbarát megjelenéssel forradalmi átalakulást hozhat a légi közlekedésben.

A hazai kutatások is profitálhatnak a GFC eredményeiből – különös tekintettel a megvalósítás megszervezése, támogatása, a siker érdekében történő összefogás példáit. A győztesek – az egyetemi tanár-diák csoport és a kis hegyi faluban működő repülőgép manufaktúra dolgozói – világhírnevet szereztek. A példa – reméljük – ragadós!

**Kék eget, jó leszállást!**

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] [http://cafefoundation.org/v2/main\\_home.php](http://cafefoundation.org/v2/main_home.php)
- [2] [http://cafefoundation.org/v2/pdf\\_GFC/GFC.TA.07.28.09.pdf](http://cafefoundation.org/v2/pdf_GFC/GFC.TA.07.28.09.pdf)
- [3] [http://cafefoundation.org/v2/pdf\\_GFC/GFC.FOV.122709.pdf](http://cafefoundation.org/v2/pdf_GFC/GFC.FOV.122709.pdf)
- [4] [http://cafefoundation.org/v2/pdf\\_GFC/GFC.Energy.White.Paper.pdf](http://cafefoundation.org/v2/pdf_GFC/GFC.Energy.White.Paper.pdf)
- [5] [http://cafefoundation.org/v2/pdf\\_GFC/GFC.Energy.White.Paper.pdf](http://cafefoundation.org/v2/pdf_GFC/GFC.Energy.White.Paper.pdf)
- [6] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Decibel>
- [7] <http://blog.cafefoundation.org/?p=4522>
- [8] [http://cafefoundation.org/v2/gfc\\_2011\\_results.html](http://cafefoundation.org/v2/gfc_2011_results.html)
- [9] [http://cafefoundation.org/v2/gfc\\_2011\\_results.html](http://cafefoundation.org/v2/gfc_2011_results.html)
- [10] [http://wiki.xtronics.com/index.php/Energy\\_density](http://wiki.xtronics.com/index.php/Energy_density)
- [11] [http://cafefoundation.org/public/2010\\_08\\_16/P8.Essay.Final\\_sm.pdf](http://cafefoundation.org/public/2010_08_16/P8.Essay.Final_sm.pdf)



Szaniszló Zsolt<sup>1</sup>

## ŰRHAJÓSOK EJTŐERNYŐVEL I. A SZOVJET/OROSZ KOZMONAUTÁK<sup>2</sup>

*A tanulmány összefoglalja az emberes űrrepülés kezdetén a szovjet űrprogramban alkalmazott pilóta mentő ejtőernyőkkel kapcsolatos ismereteket. Megmagyarázza Jurij A. Gagarin főhadnagy, a világ első űrhajója visszatérésének körülményeit elfedő okokat, az akkori hidegháborús viszonyok ismeretében. Részletesen bemutatja az első szovjet űrhajósok katapultálási folyamatát és az ejtőernyőn süllyedő űrhajósra váró veszélyeket egy valódi Vosztok kozmonauta szemszögéből. Ismerteti a Szovjetunió „kozmosz” ejtőernyőtervezéssel kapcsolatos gyakorlatát és annak történeti hátterét. Röviden kitér a későbbi szovjet/ orosz űreszközökön alkalmazott személyi ejtőernyők alkalmazhatóságára, továbbá megemlíti egy, a sztratoszférából végrehajtott különleges ejtőernyős ugrást, melynek során, az űrhajósok részére tervezett pilóta mentő eszközöket teszteltek egy speciális csoport ejtőernyő-beugró tagjai.*

### **SPACEMEN WITH PARACHUTES I. THE SOVIET/RUSSIAN COSMONAUTS**

*This study summarizes the interests of the pilot's emergency parachutes, which were used in the Soviet space program at the beginning of the human's space flight. It explains the causes of the obscured circumstances of the first cosmonaut of the world, 1st Lt. Yuri Gagarin's return, knowing the conditions of the cold war. It shows in details the process of the first Soviet spacemen's ejection and the dangerous period targeting the parachuted person, from the point of view of a real Wostok's cosmonaut. It describes the experience in connection with the planning process of the so called „cosmic's” parachutes and its historical background. And it shortly touches upon the employability of personal lifesaving parachutes on the board of latest Soviet/Russian spacecrafts, and mentions a special parachute jump executed from the stratosphere, when pilots' emergency equipments were tested by members of a special test jumper group.*

## BEVEZETÉS

A XX. század második felének története szorosan összekapcsolódott a világűr meghódítására irányuló törekvésekkel. Az akkori két űrnagyhatalom, a Szovjetunió illetve az Amerikai Egyesült Államok egymással vetélkedve, lépésről-lépésre haladt célja felé, annak a nyilvánosság előtt természetesen nem bejelentett elvnek a szellemében, hogy „*aki a világűrt uralja, uralkodhat a bolygó felett is*”.

Általában a műszaki fejlődés először a haditechnika területén mutatkozik meg, így ennek megfelelően a kozmosz katonai célokra történő felhasználhatósága a hidegháború idején sem csak gondolati síkon jelent meg. A rakéták és a visszatérő rendszereik dinamikus fejlődése – szoros kapcsolatban az interkontinentális, ballisztikus űreszközök, valamint az ejtőernyős deszant-technika fejlődésével -, az 1960-as évekre eljutott arra a szintre, hogy az állatkísérle-

<sup>1</sup> okl. mk. százados, Nemzeti Közlekedési Hatóság, Légügyi Hivatal, Állami Légügyi Főosztály, Állami Repülési Osztály, Szaniszló.Zsolt@nkh.gov.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Óvári Gyula ny. okl. mk. alez; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

teket követően (kutyák, majmok, teknősök stb.), lehetővé vált az ember biztonságos kijuttatása is a világűrbe, valamint az adott feladat végrehajtását követően a lehetőleg sérülésmentes leszállása is bolygók felszínére.

Az egymást követő, személyzettel végrehajtott űrprogramok megvalósítása, az egyre fokozódó célkitűzéseknek megfelelően, mind fejlettebb űrjárművek kialakítását követelte meg. Az ejtőernyő alkalmazhatóságának létjogosultságát a visszatérési folyamat egyik utolsó fázisában azonban senki sem kérdőjelezte meg. Ez többek között azt is eredményezte, hogy az űrtechnika fejlődése szorosan összekapcsolódott az ejtőernyő-technika korszerűsödésével is. S mivel az utóbbi, a szovjet/országi személyzettel végrehajtott űrprogramban sokak által úgy ismert, mint a kazahsztáni sztyeppe felett, hatalmas narancssárga-fehér kupola alatt ereszkedő Szojuz űrhajó leszállóegységének látványa a televízió képernyőjén, fontosnak tartom hangsúlyozni, hogy az első kozmonauták a leszállóegységtől külön, a saját személyi (mentő) ejtőernyőjük segítségével hajtották végre a visszatérés végső fázisát, a földetérést.

A mentő ejtőernyő a repülő hajózó állomány kötelező felszerelése. Ezeket nem nagy felületű, egykupolás ejtőernyőket vagy az ülésrészen, vagy a repülőeszköz személyzete mindegyik tagjának hátán és/vagy mellén helyezik el. Bármilyen repülési feltételek között, a repülőeszköz kényszerelhagyásakor a mentő ejtőernyők megbízhatóan biztosítják viselőjük életének mentését, amennyiben ő az ugrást (a katapult-berendezés indítását) időben és szabályosan hajtja végre. [12]

E tanulmányban a szovjet űrhajósok kozmikus feladata végrehajtása során, a személyi ejtőernyővel történő visszatérésének körülményeit mutatom be, valamint kitérek a személyzettel történő űrrepülés történetében eddig kevésbé ismert, szovjet/országi vonatkozású pilóta mentőernyőkkel kapcsolatos eseményekre.

A Nemzeti Közlekedési Hatóság hatósági ejtőernyőseként, valamint ejtőernyős sportolóként, munkámat az ejtőernyőzés, továbbá az űrhajózás iránt érdeklődők figyelmébe ajánlom.

## GAGARIN ŰRREPÜLÉSÉNEK UTOLSÓ FÁZISA: MI IS TÖRTÉNT PONTOSAN ÖTVENEGY ÉVVEL EZELŐTT?

A világ első űrhajója visszatérésének igaz története sokáig, – egészen pontosan 7 évig -, szigorúan titkos volt, részleteiben csak Jurij A. Gagarin okleveles mérnök ezredes, a Szovjetunió Hőse, a Szovjetunió űrhajós pilótája MiG-15UTI repülőgéppel bekövetkezett katasztrófája után hozták hivatalosan nyilvánosságra a szovjet szervek. Az akkori idők szellemének megfelelően a földetérés utolsó fázisa, – a kozmonauta visszatérő egységből történő katapultálása -, az ez időtartam alatt íródott minden szovjet szakanyagból hiányzik. Alapvetően csak az ismert tényt közlik, hogy Gagarin visszatért a Földre, de „nemes egyszerűséggel” elsiklanak az adott - nem csak ejtőernyős szemmel nézve különleges – technikai megvalósítás folyamata felett. Ez jellemzi magát a végrehajtó személy visszaemlékezését is, az „Utazás a világűrben” című könyvében:

*„Tíz óra ötvenöt perckor, miután körberöpülte a földgolyót, a Vosztok szerencsésen földet ért az előre meghatározott körzetben, a „Lenini út” kolhoz őszi szántásán, Engels várostól dél-nyugatra, Szmelovka falu közelében...*

*Amint szilárd talajra léptem, körülnéztem és észrevettem egy asszonyt meg egy kislányt; ott*



*álltak egy tarka borjú mellett, s kíváncsian néztek engem. Elindultam feléjük, ők pedig felém jöttek. De minél közelebb értünk egymáshoz, annál lassabban lépkedtek. Nem csoda, én még mindig az élénk narancsszínű űrhajós ruhámban voltam, s a furcsa látvány megijesztette ezeket az embereket. Ilyet még sohasem láttak.*

*Jött egy csoport katona, tisztjük vezetésével, teherautón robogtak a kolhozföld mellett húzódó országúton, amikor megpillantották a leereszkedő űrhajót. Ők is ölelgettek, kezemet szorongatták örömeikben. Egyikük őrnagynak szólított...*

*...A katonákkal együtt visszamentem az űrhajóhoz. Ott állt a felszántott föld közepén, ötvenhatvan méterre egy mély szakadéktól, amelyben tavaszi vizek zúgtak.*

*...A katonák őrséget állítottak az űrhajóhoz. Nemsokára megérkezett egy helikopter a fogadó-csoport szakértőivel és néhány sportbiztossal. Az utóbbiaknak jegyzőkönyvbe kellett foglalniuk az űrrepülési világcsúcs adatait. Ők ott maradtak a Vosztok mellett, én pedig elmentem a közeli katonai parancsnokságra, hogy onnan jelentést tegyek Moszkvába.” [5]*

A földetérés technikai kivitelezése elsősorban éppen azért titkosították, mivel az ún. „űrverseny” idején egy ilyen eredmény nem kevesebbet, mint az elsőbbséget is jelentette a nyugattal szemben folytatott folyamatos vetélkedésben, bizonyítván „az élenjáró szovjet technika magasabbrendűségét”.



1. ábra Vosztok<sup>3</sup> kozmonauta – az űrkabinjától független - visszatérésének művészi ábrázolása Alekszej A. Leonov, az orosz légierő tartalékos marsallja, a Szovjetunió Kétszeres Hőse, a Szovjetunió űrhajós pilótája, a szovjet festőszövetség tiszteletbeli elnöke által készített festményen

Másrésről viszont azt a magyarázatot is el lehet fogadni a titkolózás okaként, hogy abban az időben még nem adaptálták a repülési rekordok végrehajtásának követelményeit tartalmazó szabályok gyűjteményét az űrrepülésekre. Egyébként Gagarin űrrepülését akkora érdeklődés és lelkesedés kísérte világszerte, hogy az FAI<sup>4</sup>, mint a légisportok nemzetközi szervezete, e

<sup>3</sup> Восток (or. „Kelet”)

<sup>4</sup> Fédération Aéronautique Internationale (fr. „Nemzetközi Repülő Szövetség”)

repülését világraszóló teljesítményként, az első asztronautikai világrekordként minősítette. Később az FAI elkészítette a továbbiakban gyakorlatban is használható űrrepülési sport és teljesítmény kódexet, amely már – egyebek mellett - előírta, hogy a pilóta járművében szálljon fel és le. Ennek ellenére mégis csak tizenhárom évvel később tették közzé hivatalosan is Gagarin katapultálásának és önálló leszállásának részleteit. [11]

Az 1975-ös „Szojuz-Apollo” közös űrrepülést szimbolizálta a politikai enyhülést kezdetét, csökkent a Szovjetunióban is a minden totális államra jellemző, állandó titkolózás kényszere, így már lehetőség volt arra, hogy a Vosztok katapultülése és az ejtőernyőrendszer egyes elemei kiállításokon, a nagyközönség számára is megtekinthetőek legyenek.



2. ábra. A Vosztok űrhajó katapultülése a Csillagváros egyik kiállítótermében. Jól megfigyelhető az ülés – a légáteresztőképesség növelése érdekében - speciális résekkel ellátott ejtőernyőkupolája a fejtámlára terítve.

## A HAGYOMÁNYOS EJTŐERNYŐK ADAPTÁCIÓJA AZ ÚJ KÖVETELMÉNYEKHEZ - A „KOZMIKUS” EJTŐERNYŐTECHNIKA TERVEZÉSE

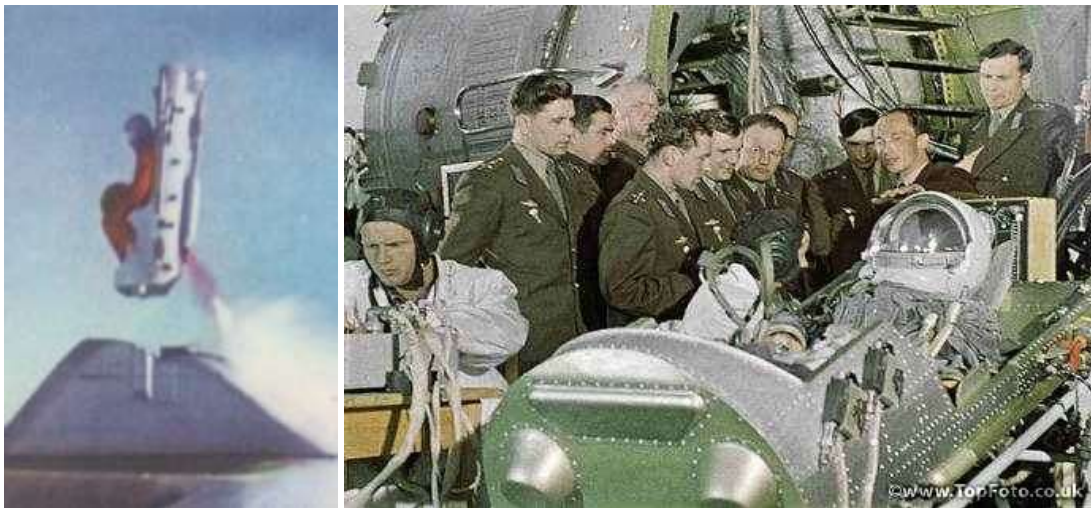
A repülési sebesség növekedésének igénye a II. világháború végére megteremtette a katapultülés és mindazon vészmentő berendezések létrehozásának szükségességét, amelyek a végleges irányíthatatlanná vált repülőeszköz hajózszemélyzete részére - bizonyos korlátozásokkal – garantálták a biztonságos gépelhagyást. Természetes, hogy a mérnökök megpróbálták a meglévő katapultülések és pilóták személyi mentőernyőjének felhasználhatóságát az első generációs embert szállító űrjárművekre is kiterjeszteni.

A „kozmosz” ejtőernyőrendszerek tervezésének, fejlesztésének gyakorlatát tekintve megállapítható a két későbbi űrnagy hatalom között több különbség is. Ilyen például az is, hogy amíg az Amerikai Egyesült Államok a különféle „kozmosz” fejlesztések műszaki megoldására pályázatokat kiírva versenyeztette az űr- és repülőipari cégeket, addig a tervgazdálkodást folytató Szovjetunióban az űreszközök leszállító rendszereivel kapcsolatos munkákkal (is) mindig egy adott tervezőirodát bízták meg, amely feladatát általában más kutatóintézetekkel közösen, állami irányítás alatt végezte.

Nemcsak az ejtőernyőzés valódi nemzeti sporttá tétele, valamint az első légi- és ejtőernyős deszant egységek és magasabbegységek létrehozása [4], hanem az ejtőernyő-technikával foglalkozó kutatás-fejlesztés szervezett és centralizált formában is a Szovjetunióban indult el. Az 1928-ban megalapított VVSzNII<sup>5</sup>-ben az ejtőernyős-deszant technika kidolgozására külön részleget hoztak létre [8], amely később önálló irodaként működött. Az 1950-es évek végétől az állami bizottság elsősorban a moszkvai IAU<sup>6</sup>-ra bízta az ejtőernyők tervezésével kapcsolatos feladatok megoldását. E munkát évekkel később az NIIAU<sup>7</sup> vette át, beleértve nemcsak a különböző modifikációjú Szozuz leszállóegységeknél, hanem a Burán űrrepülőgépnél és a világűr békés meghódításának egyéb területein alkalmazott ejtőernyőkkel kapcsolatos konstrukciós és fejlesztési tevékenységek elvégzését is.

A tervezőkollektívák több munkatársa ejtőernyős oktatóként és beugróként, számos alkalommal az új, személyi ejtőernyő- és mentőrendszerek kipróbálója is volt. Ennek, - a későbbiekben az „Ugrás a sztratoszférából” fejezetben bemutatott - Pjotr I. Dolgov ezredes, Jevgenyij N. Andrejev őrnagy is részese volt, a '60-as évek a híres ejtőernyős rekordere, Vaszilij G. Romanyuk ezredes, a Szovjetunió Hőse vezetésével [9][15].

Az első generációs szovjet személyszállító űrhajóhoz tervezett katapultülést a szovjet repülő csapatoknál rendszeresített IL-28-as bombázó-repülőgép speciálisan átalakított változatával tesztelték több alkalommal (3. ábra) [17]. Még közvetlenül az első ember világűrbe juttatása előtt néhány nappal is végrehajtottak egy utolsó ellenőrző kísérleti kilövést (!), miközben a jövőbeni kozmonauták már hónapok óta ismerkedtek a berendezéssel, igaz csak tantermi körülmények között (4. ábra).



3. és 4. ábra. A Vosztko katapultülés gyakorlati tesztelése és bemutatása a későbbi utasainak (A kozmonauták csoportjában könnyen felismerhető a jövőbeni 1. és 2. számú űrhajósa.)

<sup>5</sup> Военно-Воздушные Силы Научно Исследовательский Институт (or. „Légió Tudományos Kutató Intézete”).

<sup>6</sup> Институт Автоматических Устройств (or. „Automatikus Berendezések Intézete”).

<sup>7</sup> Научно-Исследовательский Институт Автоматических Устройств (or. „Automatikus Berendezések Tudományos-kutató Intézete” néven /ténylegesen Ejtőernyő Kísérleti Kutató Intézetként/ működött és működik).

## AZ ŰRHAJÓSOK SZEMÉLYI EJTŐERNYŐJÉNEK ALKALMAZÁSA A FÖLD KÖRÜLI PÁLYÁRÓL TÖRTÉNŐ VISSZATÉRÉSI SZAKASZ SORÁN

A személyzettel végrehajtott űrutazások kezdetén a két későbbi űrnagy hatalom eltérő visszatérési technikákat határozott meg megvalósítandó célként, tervezői számára. Amíg az Amerikai Egyesült Államok a vízfelszínre történő leszállást részesítette előnyben, addig a Szovjetunió az első, majd a második és a harmadik generációs űrhajói visszatérését is a szárazföldre tervezte. Az ennek gyakorlati megvalósítására irányuló törekvés, valamint a korabeli kombinált ejtőernyős-fékezőrakétás leszállórendszerek kiforratlansága kényszeríthette ki elsősorban a szovjet űrutasok személyi ejtőernyőinek használatát a Földre történő visszatérés utolsó szakaszában.

### **A Vosztok űrhajó ejtőernyői**

#### *A Vosztok leszállórendszerének ejtőernyői*

Kevesek által ismert tény, hogy Szergej P. Koroljov, - a korai szovjet űrprogramok főkonstruktorra - az első generációs űrhajók visszatérő módjaként eredetileg a vízfelületre történő leszállást javasolta. Ez az elképzelés azonban vakvágányra futott az állami vezetés határozata miatt, amely - elsősorban a Szovjetunió földrajzi adottságaiból kiindulva -, a szárazföldre történő leszállás mellett döntött [19]. Ez alapvetően meghatározta a Vosztok űrhajó – akkor még csak kizárólag ejtőernyős - leszállórendszerének felépítését, amelyet az űrhajó ejtőernyője, a kozmonauta katapultálásához tartozó ejtőernyő rendszer, illetve a személyi fő- és tartalék személyi ejtőernyő alkotott.

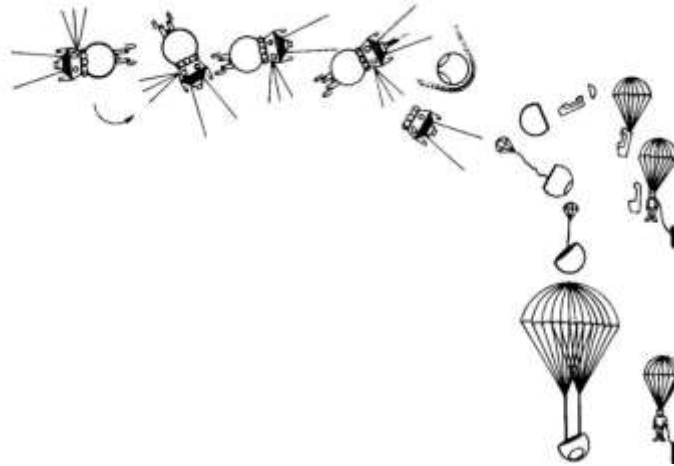
A Vosztok-1 útját egy sorozat szuborbitális, nagy magasságú, biológiai célú repülés előzte meg, melyek során kutyák is eljutottak 100 km körüli magasságokba. Az első generációs szovjet, személyzet nélküli űrhajók próbáit - a kozmikus eszközök indítási listáján - Szputnyik<sup>8</sup> űrhajóként szerepeltették, és ezek a becsapódási, túrészi tesztjei alapján a kabin ejtőernyője minimális, illetve szükséges méreteinek meghatározására is felhasználták. A legfontosabb cél, a nem katapultáló kozmonauta esetében is a földetérési sérülések megakadályozása volt. [11]

A Szputnyik űrhajók az állatokkal végrehajtott kísérleteken kívül, szkafanderbe öltöztetett, ember nagyságú bábukkal is hajtották végre a földkörüli űrrepülést, majd a visszatérés során az automatikus rendszer segítségével a katapultálást is (5. ábra).

A Szputnyik-4 – amely a kezdeti Vosztok űrhajó modellje volt -, 1960. május 15-én lépett földkörüli pályára egy űrhajóst utánzó próbabábuval a fedélzetén, de Föld légkörébe történő visszatérést „nem élte túl”. Ugyancsak így járt a Szputnyik-6 is. A Szputnyik-5 - amely már a későbbi Vosztok űrhajó modellje volt -, sikeresen tért vissza a légkörbe és ereszkedett le ejtőernyővel a Földre 1960. augusztus 20-án. Ugyancsak sikeresen szállt le a Szputnyik-9 és -10 is, amelyek kutyákkal a fedélzetükön kísérleti repüléseket végeztek az első emberi személyzettel ellátott küldetés előkészítésére. Ezután kerülhetett csak sor a Vosztok-1 űrrepülésére.

---

<sup>8</sup> Спутник (or. „Útitárs”)



5. ábra. A Szputnyik űrhajó leszállóegységének és a katapultált kozmonauta-bábú – a kis képen látható az egyik „kísérleti alany” - visszatérésének fázisai. A folyamat tökéletesen megegyezik a későbbi, valódi űrhajóssal végrehajtásával (lásd: 7. ábra)

Érdekesség, hogy a jövődő űrutast szimuláló bábú fedőnevet (a gyakori orosz kereszt- és apai nevet) Iván Ivánovicsot. is megkapta, a feladat végrehajtás idejére „Vele” elsősorban kiállításokon lehetett egyre gyakrabban találkozni (6. ábra), a titkolózás enyhülésekor.



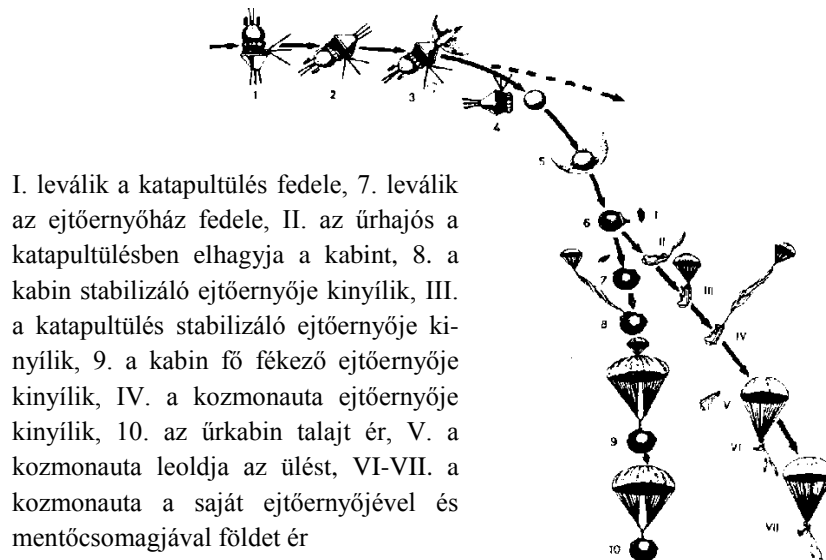
6. ábra Iván Ivánovics egy korabeli moszkvai kiállításon. A képen jól megfigyelhetőek a szovjet pilóta mentő-ejtőernyőkre jellemző, hosszú felszakadó hevederek

A Vosztok leszállórendszerének alapvető tervezési célkitűzése volt, hogy leszállás során a kozmonauták egyénileg dönthessenek arról, hogy 6,5 km-es magasságban, 220 m/s-os repülési sebességnél katapultálnak az ülésbe épített ejtőernyőikre bízva magukat, a kedvezőbb földetérési körülmények érdekében -, vagy a katapultulás működését blokkolva, az űrkabinban maradnak és annak ejtőernyőjével érnek Földet. A későbbi eredmények nyomán megállapítható, hogy a kozmonauták személyi döntése 100 %-osan a katapultulás alkalmazása mellett szólt [19], s ebben nyilvánvalóan óriási szerepet játszott az alapos ejtőernyős képzés során megszerzett és magas szinten tartott ismeretük, jártasságuk is.

A Vosztok kabinjának elhagyását követően egy - a katapultulás felső részén található konténerbe található – 2 m<sup>2</sup> felületű ejtőernyő biztosította az ülés zuhanási sebességének lefékezését, a kozmonauta 83,5 m<sup>2</sup> felületű, az ugyancsak a katapultulás felső részén található konté-

nerbe helyezett főejtőernyőjének biztonságos nyitásához szükséges sebesség elérésig. Ennek működésképtelenné válása esetén egy kisebb, 56 m<sup>2</sup> felületű, – a katapultülés háttámlája mögé rögzített - tartalék személyi ejtőernyővel ereszkedhetett volna le az űrhajóst a Földre.

A 2,4 t tömegű űrkabin ejtőernyőrendszerét működésbe hozó vezérlőjelet barometrikus érzékelő biztosította a fülkeelhagyást követően, melynek hatására egy 1,5 m<sup>2</sup> felületű ejtőernyőt tartalmazó kihúzó blokk került ki a légáramlatba, maga után húzva az 5 km-es magasságban nyíló 18 m<sup>2</sup>-es fékező ejtőernyőt. Ez, a kabin 2,5 km-es magasságban belobbanó 574 m<sup>2</sup> felületű fő ejtőernyőjét hozta működésbe [16] [20]. A leírt folyamatot a 7. ábra szemlélteti:



7. ábra A Vosztok űrhajó leszállóegységének és a katapultált kozmonauta visszatérésének fázisai (az ábrán csak a katapultálással, illetve az űrkabin ejtőernyőjének működésével kapcsolatos számozás olvasható)

## AZ ŰRHAJÓSOK SZEMÉLYI EJTŐERNYŐINEK ALKALMAZÁSA A STARTHELYEN, A FÖLD KÖRÜLI PÁLYÁRAÁLLÁS ÉS A VISSZATÉRÉS IDEJÉN BEKÖVETKEZŐ VÉSZHELYZETEK BEN

E fejezetben az első generációs Vosztok, a második generációs Voszhoz űrhajókon alkalmazott személyi ejtőernyőkkel kapcsolatos ismereteket kívánom kiegészíteni a Buran<sup>9</sup> űrrepülőgép katapultülésének bemutatásával.

### A Vosztok űrhajó ejtőernyői

#### *A Vosztok vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői*

A Vosztok űrhajó katapultülésének valamint a kozmonauta személyi fő- és tartalék ejtőernyői használatának eredeti célja elsősorban az űrkabintól független földetérés biztosítása volt (8. és 9. ábra), de ugyanezek a mentőeszközök starthelyzetben, vagy az orbitális pályára állás kezdetén bekövetkező vészhelyzetekkor, illetve ha az űrkabin ejtőernyője működésképtelenné válsakor is funkcionálhattak volna.

<sup>9</sup> Буран (or. „Hóvihar”)



8. és 9. ábra. A Vosztok kozmonauták személyi ejtőernyői elől-és hátulnézetben (Az előlnézeti képen jól megfigyelhető a szovjet rendszerű pilóta mentő ejtőernyőkön elterjedt központi zár és a PPKU típusú ejtőernyő-nyitó félautomata, míg a hátulnézeti képen a kozmonauta ejtőernyője alá rögzített NAZ<sup>10</sup> készlet doboza)

Mivel a szkafander bizonyos mértékben korlátozta a kozmonauta mozgását, ezért a PPK-U típusú ejtőernyő-nyitó félautomata működésén alapuló, a katapultrendszerknél már bevált biztosítókészüléket alkalmaztak, amely a kézi kioldófogantyú meghúzásakor automatikus és kézi üzemmódban egyaránt biztosította a személyi ejtőernyőrendszer biztonságos nyitási folyamatát. [7]

### **A Voszhod<sup>11</sup> űrhajó ejtőernyői**

A második generációs szovjet űrhajó két- vagy háromszemélyes kabinját úgy tervezték, hogy alkalmas legyen akár szárazföldre, akár vízfelületre történő leszállásra, bár ez utóbbinak a lehetőségét sohasem próbálták ki gyakorlatban, a két működőképes a Voszhod repülése során. Mivel a kabin méretei a Vosztokénál alapvetően nem voltak nagyobbak, így a kozmonauták számára katapultülések beépítésére sem nyílt lehetőség. sem vészhelyzetre, sem egyéni földetérés biztosítására. Ezért az űrkabint a világon először, kombinált ejtőernyős-fékezőrakétás leszállórendszerrel szerelték fel.

Később, ugyanez a tervezési koncepció érvényesült a harmadik generációs Szojuz űrhajók valamennyi modifikációjánál is, melyeket már szintén nem szereltek fel egyéni mentőberendezésekkel.

### **A Voszhod vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői**

Az előzőeknek megfelelően leírtak alapján nem értelmezhető a Voszhod katapultülés fogalma, bár az első űrhajós visszatérését követően másfél évvel lejegyzett repülési rekord másra enged következtetni. Erről bővebben foglalkozom majd - a már említett - „*Fejezetek az űrha-*

<sup>10</sup> Носимый Аварийный Запас (or. „Fedélzeti Mentő Készlet”)

<sup>11</sup> Восход (or. felmenetel, napfelkelte)

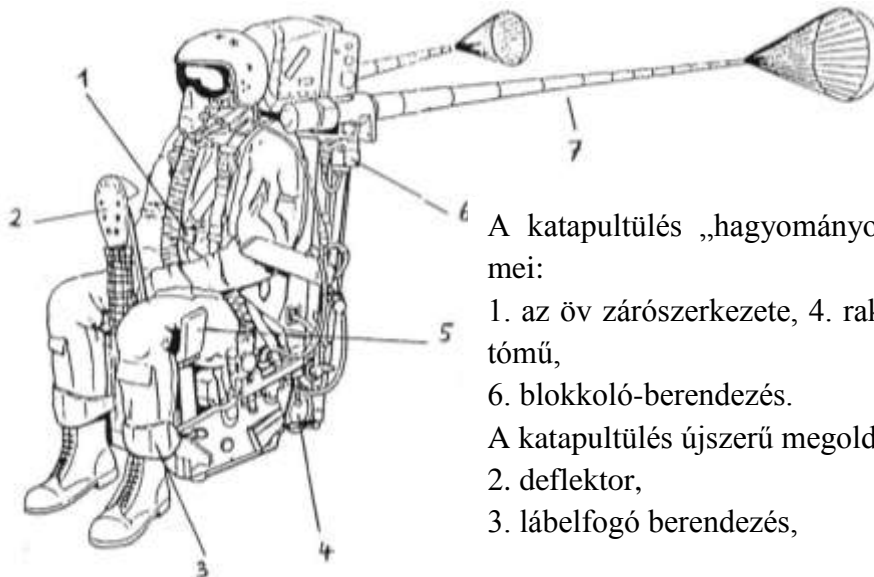
józás történetének kulisszatitkaiból: űrhajósok ejtőernyős ugrásaival kapcsolatos események” fejezet, „Ugrás a sztratoszférából” alfejezetében.

### A Buran űrrepülőgép ejtőernyői

A szovjet Buran űrrepülőgép egyetlen sikeres próbaútja 1988. november 15-én a Bajkonur Kozmodrom leszállóbetonján ért véget, teljesen automatikus üzemmódon, személyzet nélkül. A 310÷340 km/h sebességű földetérést követően, három darab, kereszt alakú, összesen 75 m<sup>2</sup> területű ejtőernyőből álló rendszer fékezte le a repülőgépet, majd az oldalra húzás elkerülése érdekében azokat, 50 km/h sebességnél leválasztották. A Buran teljes lefékezéséhez 1100÷2200 m-es kifutási úthosszra volt szükség [6].

### A Buran vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői

A Buran űrrepülőgép személyzettel történő repüléséhez, első alkalommal, a Jak-38 és MiG-25 típusú vadászrepülőgépeken alkalmazott, ún. „dupla nullás”<sup>12</sup>, K-36 típusú katapultülés (10. ábra) módosított változatával kívánták felhasználni.



A katapultülés „hagyományos” elemei:

1. az öv zárószerve, 4. rakétahajtómű,
6. blokkoló-berendezés.

A katapultülés újszerű megoldásai:

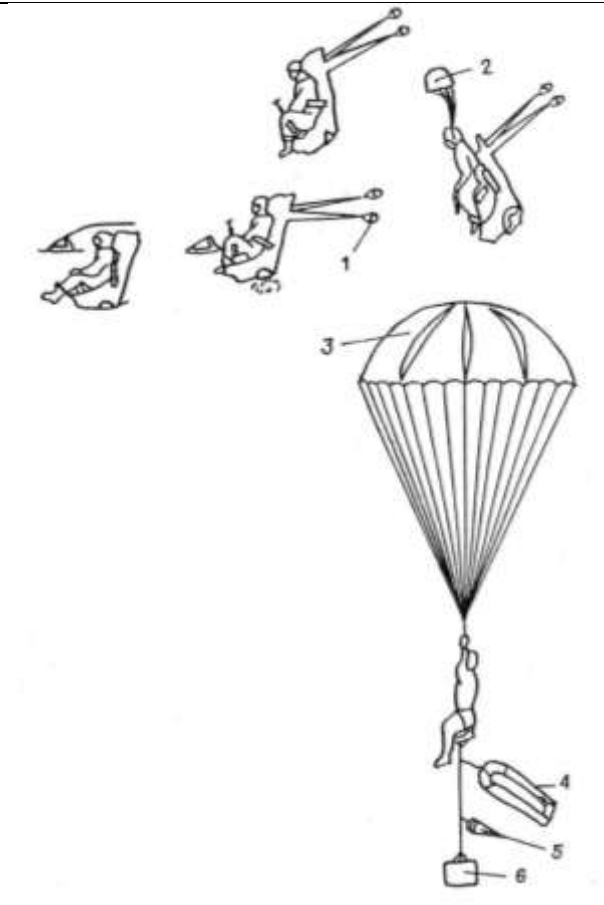
2. deflektor,
3. lábelfogó berendezés,

10. ábra A K-36 típusú katapultülés már önmagában is hordozott új megoldásokat az ún. katapultálási testhelyzet beállítására, valamint a hajózó torlónyomás hatásai elleni védelmével kapcsolatosan

A katapultülés különlegességét a stabilizációs rendszerének megoldása szolgáltatja [3]. A hátul, két oldalt elhelyezett teleszkópkarok a katapultálás után azonnal kitolódnak a helyükről, és a több mint 2 m hosszú rudak végén elhelyezett kis segéd-ejtőernyők mindaddig stabilizálják az ülés és a kozmonauta zuhanását, megakadályozva a keresztengely körüli forgást is, amíg el nem éri az 5000 m-es földfelszín feletti magasságot. Ezután a katapultülés leválik a kozmonautáról (11. ábra), aki a 60 m<sup>2</sup>-es alapterületű [13], réselt kupolájú, PSzU-36 típusú repülőgépvezető mentőejtőernyővel ér földet [14].

<sup>12</sup> Mivel az ejtőernyő kívánt működéséhez megfelelő magasság és sebesség szükséges, így a kifejezés azt jelenti, hogy a katapultálás végrehajtása a föld felett 0 m-es magasságon, illetve 0 km/h-s sebességnél is biztonságosan végrehajtható úgy, hogy a pilóta mentő ejtőernyőnek még van ideje belobbanni.





11. ábra. A K-36 típusú katapultülés és a PSU-36 repülőgépvezető mentőejtőernyő működésének folyamata  
 1. a stabilizáló ejtőernyők, 2. a katapultülés fejrésze a benne elhelyezett ejtőernyővel, 3. a fő ejtőernyő, 4. a mentőcsónak, 5. rádiómajak, 6. a fedélzeti mentőkészlet

Szeverin G. A. a Zvezda cég főmérnöke, a vadászpilóták számára tervezett „alap” mentőrendszert úgy módosította, hogy az ülés (12. ábra) felhasználható legyen nemcsak a indítóállványon - ebben az esetben a rakétahajtóművek 300 m magasságra emelték fel a katapultülést -, hanem egészen  $H=30000$  m-es repülési magasságig, illetve  $M=3,0$ -ig bekövetkező vészhelyzetekre is. [2]

Az új, „kozmosz” követelmények legyőzésére is képes katapultülés (12. ábra) valódi kipróbálására soha nem került sor (13. ábra), mert az egyetlen, automatikus vezérléssel, személyzet nélkül végrehajtott sikeres próbarepülést követően – elsősorban gazdasági okokból -, a szovjet űrrepülőgép programot törölték.



12. és 13. ábra. A K-36 típusú katapultülés Buran pilótafülkéjébe beépítésre tervezett módosított változata múzeumi kiállításon illetve a szovjet űrsiklóba beépítve

## A PILÓTA MENTŐEJTŐERNYŐJÉNEK SZEREPE AZ ŰRHAJÓSOK REPÜLŐKIKÉPZÉSÉBEN

Az '50-es és '60-as évek műszaki színvonalán tervezett katapult- és vészmentő eszközök biztonságos alkalmazhatósága érdekében, a kiképzési program tematikájának összeállítói a jövőendő személyzettől előképzettségét is megköveteltek. Mivel az első űrhajósokat elsősorban a katonai pilóták közül választották ki, így formálisan nekik már nem kellett ejtőernyős kiképzésen részt venniük, hiszen ilyen jellegű képzettségüket már repülő-hajózó pályafutásuk elején megszerezték. (Ez az elgondolás csak részben igaz is, de a téma komplexitása miatt úgy döntöttem, hogy az asztronauták speciális ejtőernyős felkészítése, valamint a keleti és nyugati ejtőernyős kiképzési rendszerek közötti különbségek bemutatása egy másik tanulmányom témája lesz. Így e munkámban csak az űrhajósok általános felkészítése során bekövetkező pilóta mentőejtőernyővel kapcsolatos esetek közül mutatok be egyet részletesen.)

### **A MiG-15 UTI repülőgépen alkalmazott katapultülés és a pilótamentő-ejtőernyő**

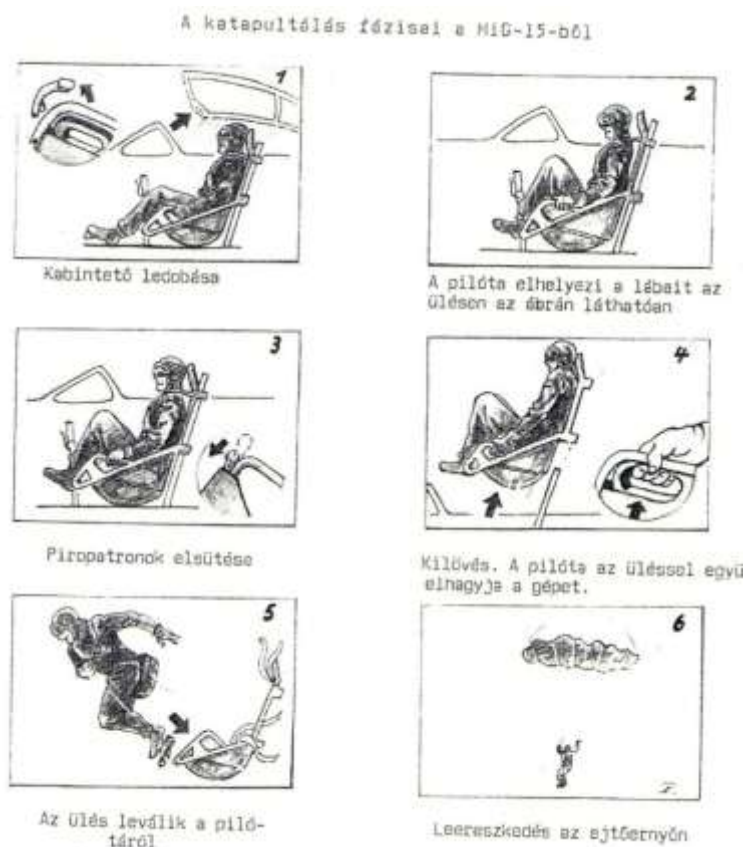
Ahogy a volt Szovjetunióban, úgy a jelenlegi Oroszországban is az űrhajóskiképzés szerves része a sugárhajtású repülőgépekkel történő gyakorlórepülés – egy tapasztalt repülőoktatóval a hátsó kabinban -, amelyre a „Gagarin idején” a MiG-15 UTI típust alkalmazták.

A világ első űrhajója Jurij Gagarin (15. ábra), egy, a kiképzési programjának megfelelő felkészítő gyakorlórepülés során, 1968. március 27-én [20] Vlagyimir Szerjogin ezredessel, a Szovjetunió Hőisével, katasztrófát szenvedett és életét veszítette. Ennek körülményeit az elmúlt, több mint négy évtized alatt, fedélzeti objektív-kontroleszköz hiánya miatt is - hosszas vizsgálatok során sem sikerült teljesen felderíteni, s ezt az időről-időre szárnyra kapó, összesküvés-elméletekből táplálkozó rémtörténetek táptalaja. Tény, hogy a személyzet jelentette a feladat befejezését, majd megkezdtek a besorolást a repülőterre a gyakorló légtérből, amikor a tragédia bekövetkezett. A repülőgépük meredeken, nagysebességgel csapódott a földfelszínhez és egyértelműen megállapítható volt, hogy a pilóták meg sem kísérelték a katapultálást.



14. és 15. ábra. Egy MiG-15 UTI-ból származó, speciális feladatra átalakított katapultülés, és akinek rövidesen már nem segíthetett...Jurij A. Gagarin okl. mk. ezredes, a Szovjetunió Hőse, a Szovjetunió űrhajós pilótája utolsó felszállása előtt.

Ez a katapultülés a szovjet konstrukciók első generációjához tartozott, így még néhány „gyermekbetegséggel” rendelkezett, pl. az ún. lábelfogó berendezés hiánya, ami miatt a katapultálási testhelyzet felvétele, és így maga a katapultálás is az elfogadhatónál lényegesen időigényesebb volt (16. ábra).



16. ábra A katapultálás végrehajtásának folyamata a MiG-15-ös repülőgép hajózó állománya részére készült üzemeltetési utasítás alapján szemléltetve

Ez a technikai kiforratlanság számos – többek között magyar nemzetiségű – katapultálást végrehajtó hajózó csonkolásos sérülését, majd a halálát is okozta. Ez bekövetkezhetett a nem rö-

zített, leválasztott végtagok ütközése, leszakadása során létrejövő nagy vérveszteség miatt kialakuló sokk eredményeképpen, vagy a fülkeelhagyását követően a vízszintes/függőleges vezérsíkkal történő összeütközés következményeként is.

A repülőgép üzemeltetési utasítása alapján a katapultülés kezdetben csak  $H > 300$  m-es repülési magasság felett,  $v < 750$  km/h repülési sebesség alatt tette lehetővé a biztonságos vészelhagyást [22]. A későbbi ülésrészebe helyezett, egyre fejlettebb pilótamentő ejtőernyők ennél extrémebb feltételeknek is megfeleltek. Az Sz-3 típus alkalmazása pl. a vészelhagyási sebesség értékét 850 km/h-ban maximalta, a repülőgépvezető fülke elhagyásának minimális repülési magasságát 150 m-re csökkentette [12].

A MiG-15-ös vadászipülőgépek különböző modifikációiba, valamint az Il-28-as könnyű frontbombázó repülőgépbe a repülőgépvezető és a bombázótiszt/navigátor számára ugyan ezt a katapultülést építették be, míg a rádiós-lövész egy csapóajtót kinyitva, a gravitáció segítségével tudta a vészelhagyást megoldani. (Ez katapultülés még nem rendelkezett típusmegnevezéssel, mint pl. a későbbi SzK-1 vagy KM-1 típusok.)

### Egyéb pilótamentő-ejtőernyők alkalmazása az űrhajósok kiképzésében



17. ábra. Néhány perccel a súlytalanság előtt...A jövő és veterán kozmonauták hátán – hazánkban az L-39 típusú sugárhajtású kiképző- és többfeladatú repülőgépen alkalmazott – PL-70 jelzésű ejtőernyő speciális leoldózárral ellátott, módosított változata ismerhető fel.

A technikai lehetőségek fejlődése megadta a lehetőséget arra, hogy a mikrogravitációs térben történő mozgástechnika elsajátítására, ne csak a veszélyesnek tartott szabadon eső ejtőernyős ugrások tapasztalatait lehessen felhasználni, hanem más módon is lehetőség nyíljon ennek megtapasztalására. A speciális, parabolapályán haladó szállítórepülőgép belső terében helyet foglaló, kiképzés alatt álló kozmonauták mellett, napjainkban már a jól fizető, kalandkereső

érdeklődők is részesei lehetnek, a repülés során néhányszor, kb. egy-másfél perces időintervallumokra megtapasztalhatták a súlytalanság érzésének. (Az ő biztonságukat is a repülőgép belsejében kötelezően viselt pilótamentő-ernyők garantálják (17. ábra).

Az eltelt évtizedek alatt, az erre a célra alkalmazható pilótamentő-ejtőernyők számos típusa jelent meg, de fontos, hogy a szovjet/oroszk kiképzők ezek felvételét repülés közben 100%-ban, maradéktalanul megkövetelték, bár nincs adat arról, hogy valaha is szükségessé vált volna alkalmazásuk, egy esetleges vészelhagyás kapcsán. Bár az új, - előzőekben bemutatott - repülőgéppel időlegesen szimulált mikrogravitáció, közkedvelt elsajátítási formájává vált az űreszköz belső terében végrehajtandó mozgásformák megismerésének és begyakorlásának, a kozmonauták ejtőernyős kiképzése minden bizonnyal még a jövőben is fontos gyakorlati elemként meg fog maradni, mint hagyományos módszere a hajózó- és űrhajós felkészítésnek.

## FEJEZETEK AZ ŰRHAJÓZÁS TÖRTÉNETÉNEK KULISSZATITKAIBÓL: AZ EJTŐERNYŐS UGRÁSSAL KAPCSOLATOS ESEMÉNYEK

### **Egy kevesek által ismert eset, amely majdnem tragédiával végződött...**

A Vosztok űrhajó kabinjából történő katapultálás, majd az ejtőernyős leszállás folyamatát egy olyan ember szavaival írom le, aki ezt másodikként végrehajtotta. Részlet German Tyitov: „Kék bolygóm” című könyvéből:

*„A túlterhelés csökkenése után éreztem, hogy az űrhajó enyhén rezegni kezdett, és a fedélzeten kívülről hallatszott, hogy szeli a levegőt. Ez azt jelentette, hogy a leszállóegység sebessége annyira lelassult, hogy kisebb a hangnál. A leszállóegység sebessége óránként 28 ezer kilométerről 600-800 kilométerre csökkent. Megkezdődött a leszállás utolsó szakasza – a földet érés. Az automatikus berendezés utasítására kinyílt a fülke, és ugyanúgy, mint a korszerű repülőgépeken, a katapultrendszer „kidobott” a levegőbe. Kinyíltak az ejtőernyők, szétnéztem, s megláttam a fülkét, amint nálam valamivel lejjebb közeledett a Föld felé a körzeten keresztülvivő vasút közelében.*

*Jobbra tőlem egy nagy folyó, amelynek mindkét oldalán város fekszik. Tehát minden rendben, Szaratov körzetében szállok le.*

*Még az ejtőernyőn hintáztam a levegőben, de az űrhajó már földet ért. Láttam, hogy egy ember állt meg mellett, körülötte más emberek is tolokodtak. Találgatni kezdtem, vajon a fülkétől messze érek-e földet. Elég erős szél fúj, s engem egyre messzebb sodort az űrhajó leszállásának helyétől. Úgy tűnt, a vasúti töltés oldalán szállok le, ahol éppen Moszkva felé rohogott a vonat. Nem egyeztettük össze a vonat menetrendjét leszállásom időpontjával, s így történt, hogy útjaink csaknem egyidőben kereszteződtek. Nem tudom, észrevett-e engem a mozdonyvezető, és ezért növelte a sebességet, vagy én még elég magasan voltam, de a vonat éppen csak elrohogott, majd néhány tíz méterre a vasúttól a learatott búzaföldeken szerencsésen földet értem. Így hát elsőként a Volga menti földeken dolgozó emberek fogadtak, segítettek levetni az űrruhát. Krasznij Kut községből megérkezett két gépkocsi, megkértem az egyik sofőrt, vigyen el a Vosztok-2 fülkéjéhez, mivel gyalog egy kicsit messze volt, mintegy öt kilométerre.” [18]*

## A Voszhod vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői

A Voszhod 1964. évi repülése előtt, 1962. november 1.-én – tehát már az első generációs Voszok alkalmazása közben, véleményem szerint inkább fejlesztési céllal – Pjotr I. Dolgov ezredes (18. ábra) és Jevgenyij N. Andrejev őrnagy (19. ábra) ejtőernyő tervezők és beugrók [15] - azonnali nyitású és késleltetett ejtőernyős ugrásokat hajtottak végre Volszk város mellett, 25000 méter magasságból, egyazon ballon gondolójából.



18. és 19. ábra Pjotr I. Dolgov ezredes és Jevgenyij N. Andrejev őrnagy, a magassági ugrás végrehajtói. A nevezetes rekord után megkapták a Szovjetunió Hőse címet és a hozzá járó Arany Csillag Érdemrendet, egyikük már csak halála után

Az ugráshoz speciális szkafandert, fő- és tartalék ejtőernyőt használtak (20. ábra).



20. ábra Pjotr I. Dolgov ezredes felszerelését társai ellenőrzik a felszállás előtt. Az ejtőernyős bal vállán átvette tisztán látható a bekötött ejtőernyős ugrás nélkülözhetetlen eleme, a karabínnal ellátott bekötőkötél. Az ezredes élete nem az ejtőernyőn múlt...

Dolgov - a kapott feladatnak megfelelően - azonnali nyitással működtette az ejtőernyőjét, de a szkafanderének dehermetizációja miatt, az ugrás során életét veszítette. Élettelen testét az egyébként előírás szerint működő ejtőernyő lassan eresztette le a Földre. [1] Társa, Andrejev az FAI hivatalos rekordtáblázata szerint 24500 m szabadesés után nyitotta az ejtőernyőjét. A korabeli publikációk alapján a ballongondolát katapultálással hagyták el [9], ebből feltételezhető, hogy a Voszhod mentőrendszerének előkísérletét végezték el, amelyet a gyakorlatban soha nem alkalmaztak repülés során sem.

## ZÁRSZÓ

A történelem megmutatta, hogy a pilóta ejtőernyők alkalmazása még olyan speciális területen is nélkülözhetetlen, mint a világűr felfedezése. A „habselyem őrangyal” beépítése és használata a repülés ezen az - akkor még nem hétköznapi - területén az ejtőernyős technika hihetetlen ütemű műszaki fejlődéshez vezetett.

A legújabb kori űrkutatás történetének alig több mint fél évszázada alatt a kozmikus eszközökön alkalmazott ejtőernyőrendszerek – néhány kivételtől eltekintve – pontos és megbízható működéssel biztosították a világűr békés és biztonságosabb meghódításának kezdeti lépéseit és az emberi tudás fejlődését.

Az űrhajózás területén eddig alkalmazott személyi ejtőernyőrendszerek kifejlesztése során nyert tapasztalatok minden bizonnyal a jövőben is segítik a konstruktőrök munkáját, a személymentési problémák ejtőernyős-technikával történő megoldását és megteremtik az újabb sikeres vészleszálló, illetve vészelhagyó rendszerek létrehozásának lehetőségét a repülés e különleges területén, az űrhajózásban is.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Je. N. Andrejev: Körülöttem az ég. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1985/4. 20-22. oldal
- [2] A pilóta biztonságát szolgálja a katapultülés. TOP GUN 1992/7
- [3] Aviation Week and Space Technology 1988. december 5. 31. oldal
- [4] Dombi Lőrinc: Selyempupolák Zrínyi Katonai Kiadó Budapest, 1993
- [5] Ju. A. Gagarin: Utazás a világűrben. Táncsics Könyvkiadó Budapest, 1962
- [6] Dr. Horváth András, Szentpéteri László: A Burán első útja. Az amerikai és a szovjet űrrepülő rendszerek összehasonlítása. Haditechnika 1989/1. 27-33. oldal
- [7] Kastély Erika: Biztosítókészülékek EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1993/4. 22-66. oldal
- [8] Katonai ejtőernyőzés Magyarországon. Egyetemi jegyzet. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2005.
- [9] T. Kozsevnyikova, M. Popovics: Örök szárnyalás. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1974.
- [10] J. E. Oberg: Red Star in Orbit: The Inside Story of Soviet Failures and Triumphs in Space. Random House New York, 1981
- [11] M. J. Ravnitzky, S. N. Patel, R. A. Lawrence: Zuhanás az űrből: Ejtőernyők és az űrprogram. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1997/3. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926)
- [12] Re/552 Az ejtőernyők szerkezete, felépítése és üzemeltetése. Honvédelmi Minisztérium kiadása 1964.
- [13] Re/1179 Az ejtőernyők szerkezeti leírása és üzemeltetési szakutasítása. VI. könyv. A Honvédelmi Minisztérium kiadványa 1984.
- [14] Рысев, О. В., Пономарев, А. Т., Васильев, М. И., Вишняк, А. А., Днепров, И. В., Мосеев, Ю. В. Парашютные системы. Москва, Наука, Физматлит, 1996.
- [15] В.Г. Романюк: Заметки парашютиста-испытателя Военное Издательство Министерства Обороны СССР Москва, 1973
- [16] Szerzői kollektíva K. P. Feoktyisztov vezetésével: Космические аппараты. Военное Издательство Москва, 1983
- [17] Szerzői kollektíva: Покорение космоса Издательство Машиностроение Москва, 1969.
- [18] G. Tyitov: Kék bolygóm. Kozmosz Könyvek Budapest, 1976.
- [19] Űrhajósok ejtőernyős ugrása. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1984/6. 31-32. oldal. (az eredeti változat: А. А. Войнов: Человек и парашют. Москва 1977.)
- [20] Űrhajózási lexikon. Akadémiai Kiadó, Zrínyi Katonai Kiadó Budapest, 1984
- [21] L. Vladimirov: The Russian Space Bluff: the Inside Story of the Soviet Drive to the Moon. Dial Press, 1973, 81-82. oldal New York
- [22] Zsák Ferenc: Katapultáló magyarok I. AEROMAGAZIN 2009. február



Vonnák Iván Péter<sup>1</sup>

## A REPÜLŐESZKÖZÖK DIAGNOSZTIKÁJA, ÜZEMBENTARTÁSA ÉS A GAZDASÁGOSSÁG ÖSSZEFÜGGÉSEI<sup>2</sup>

*Cikkemben bemutatom a horizontálisan összefüggő üzembentartási elv gazdasági előnyeit összehasonlítva a vertikálisan behatárolt hagyományos üzembentartási elvvel, a kizárólagosan a repülőgépipar által meghatározottak szerinti üzembentartással. Ez a repülőgépipar és az üzembentartó szervezetek új együttműködési elve, amely lehetővé teszi repülőtechnika teljes üzemidő tartalékainak, lehetőségeinek kidolgozását és az üzembentartó szempontjából is értékelhető gazdaságossági eredményekhez vezet. Erre a legalkalmasabb a **tényleges műszaki állapot szerinti üzembentartás**, ahol meghatározó az üzembentartó szervezetek diagnosztikai képessége, fejlettsége, megbízhatósága és kiértékelésre való alkalmassága.*

### THE DIAGNOSTICS, MAINTENANCE OF AVIATION TECHNICAL DEVICES IN RELATION TO ECONOMIC

*In my article I wish to demonstrate the economic advantage of horizontally determined principle as compared with the vertically determined traditional that exclusively determined by the aircraft industry. The horizontally determined principle is a new principle in the cooperation of the aircraft industry with maintenance organizations, which make completely to develop aircraft life reserves possible with economic results for maintenance organization. The best suitable for this is **the maintenance of aviation technical devices on effective condition**, based on the perfection diagnostics suitability of the maintenance organizations and ability to do accurate data and aircraft condition evaluation.*

## I. ÁLTALÁNOS ÜZEMBENTARTÁSI ELVEK

### 1. Vertikálisan behatárolt üzembentartási elv



1. ábra Tervszerű megelőző karbantartás szerinti üzembentartás egy szigorúan hierarchikus elv

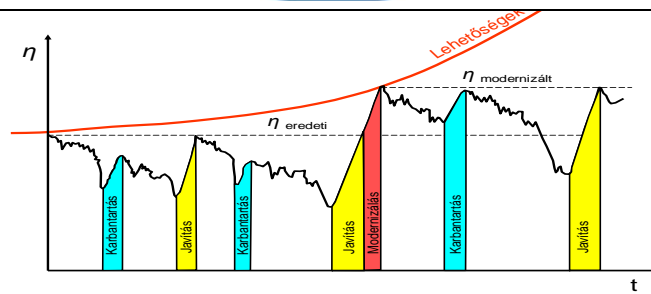
A tervszerű megelőző karbantartás elemei általánosságban:

- karbantartás (a megbízhatósági szint tartása);
- javítás, felújítás (a megbízhatósági szint helyreállítása);
- modernizáció (a tudományos-technikai haladás eredményeinek megfelelően a műszaki jellemzők kedvezőbb szintre való emelése).[8]<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ny. alezredes; vonivpeter@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

<sup>3</sup> 22. oldal



2. ábra A karbantartás, felújítás, javítás és modernizáció hatása a repülőtechnika műszaki állapotára [8]<sup>4</sup>

ahol:

- $\eta$  - műszaki állapot jellemzői;
- $\eta_{\text{eredeti}}$  - vagy tervezett rendszer műszaki megbízhatóság szintje,
- $\eta_{\text{modernizált}}$  - a modernizált rendszer megbízhatósági szintje,
- $\eta_{\text{min}}$  - a típus műszaki megbízhatósági minimuma,
- $\eta_{\text{tq}}$  - a típus teljes megbízhatósági szintje,
- $t$  – a típus erkölcsi elévülési ideje

Az 2. ábrából látható, hogy az általános elemek hogyan befolyásolják a repülőgép műszaki állapotát, de kiolvasható az is, hogy az üzemeltető költségei akkor csökkennek, ha a repülőgép üzemeltetése során a karbantartások és a javítások száma kevesebb, a közöttük eltelt idő, pedig nagyobb. Tekintettel arra, hogy a tervszerű megelőző karbantartás technológiáját a gyártók határozzák meg, az üzemeltetők ettől eltérni nem tudnak, következésképp **az üzemeltetési költségeiket alapvetően a repülőgép gyártója és javítóvállalata határozza meg**. Ugyan az üzemeltetés során kezelt paraméterek a repülőeszköz magas repülés biztonsági szintjét garantálják, de a gyártó a gazdaságos üzemeltetés peremfeltételeit csak a saját szempontjai szerint vizsgálja és határozza meg – sokszor önkényesen és igen nagy biztonsági rátartással – és egyben ezt az üzemeltetőkre kötelező érvényűen rákényszeríti.

A gyakorlatban a gyártóval megkötött szerződés értelmében a repülőgéppark, mint komplett logisztikai rendszeregység kerül átadásra, amelynek kiemelten fontos részét képezi a repülőgépekre előírt „**Tervszerű Megelőző Karbantartás**” üzemeltetési stratégiája.

Nagy általánosságban a repülőeszközök rendszerbeállítása és üzemeltetése három szinten valósul meg:

1. „O” – „operational level” szint: az üzemeltető századnál. A repülés kiszolgálásával összefüggő előkészítő kisebb mélységű, de nagyobb gyakoriságú karbantartási, ellenőrzési munkák.
2. „I” – „intermedial level” szint: a repülőeszköz javító századnál. Nagyobb mélységű ellenőrzések, karbantartási munkák és csapat szintű javítások.
3. „D” – „depot level” szint: ipari javítás. A repülőgépek, valamint az üzemidős és a meghibásodott berendezések ipari javítása.

<sup>4</sup> 23. oldal

## 2. Horizontálisan összefüggő üzemmentartási elv

A tudomány és a technika rohamos fejlődése az anyagvizsgálati és a diagnosztikai eszközök, módszerek fejlődését is eredményezte. Ez a repülőgép üzemmentartók számára már megteremtette az érvényben lévő üzemmentartási stratégia megváltoztatásának, ezzel a költségeik csökkentésének lehetőségét.

Ez az **élettartam-költség menedzsment**, az ellátási-lánc menedzsment, azaz a gazdaságossági és a terméktulajdonlási viszonyok megváltoztatását jelenti [7], amely már a felhasználó részére aktív tevékenységre, hatékony beavatkozásra biztosít lehetőséget.

A költségeket a felhasználó vagy vásárló szempontjából három nagy csoportra oszthatjuk:

- beszerzési költségek;
- tulajdonlási költségek;
- modernizálás, nagyjavítás, megsemmisítés vagy ártalmatlanítás költségei.

Az üzemmentartók szempontjából a **tulajdonlási** költségek a meghatározók, mivel ezek a repülőeszközök teljes élettartamát átfogják és működtetési, valamint fenntartási összetevőkből állnak össze. (A repülési szakirodalomban inkább az **üzemeltetési** és **üzemmentartási** kifejezéseket használják ezért a továbbiakban én is ezeket fogom alkalmazni.

A repülőtechnikai eszközök **üzemeltetési** ráfordításai jól tervezhetők, mivel azok *a szükséges szerszámok, infrastruktúra, felhasznált fogyóanyagok, a közvetlen élőmunka, a repülőeszközön végrehajtott szerkezeti módosítások, valamint a működtetés során keletkezett hulladék kezelésének költségeiből keletkeznek* [7]<sup>5</sup>. A repülőtechnikai eszközöknél a működtetéshez szükséges fogyóanyagok és üzemanyagok, felhasználása képezi a legnagyobb tételt, amely nagysága az éves használat intenzitásától, vagyis az üzemeltetési (kiképzési) tervekben meghatározott céloktól függ. Az adott peremfeltételek teljesülése esetén ez a költség viszonylag állandó és jól tervezhetők.

Az **üzemmentartási** költségek alapvetően a megelőző karbantartás, a meghibásodások kijavítása és az alkalmazott műszerek, szerszámok és a működtetés során keletkezett hulladék kezelésének ráfordításaiból tevődnek össze [7]<sup>6</sup>. A megelőző karbantartás és a meghibásodások kijavítása további költségelemekre bonthatók: A munkaerőre, az állásidőre és a tartalék alkatrészek beszerzésére. A megelőző karbantartás technológiáját általában a repülőeszköz gyártója határozza meg, így ennek összege megfelelő pontossággal tervezhető. A meghibásodások kijavításának kiadásai több tényezőtől is függhet. Ezek jellemzésére használható mutatók a két meghibásodás közötti átlagos működési idő (MTBF [8])<sup>7</sup>, a javításokra fordított idő stb., azonban ezek nagymértékben függenek az üzemeltetés feltételeitől, ezért például a repülőeszközök beszerzésekor csak iránymutató, összehasonlító adatként vehetők figyelembe [7].

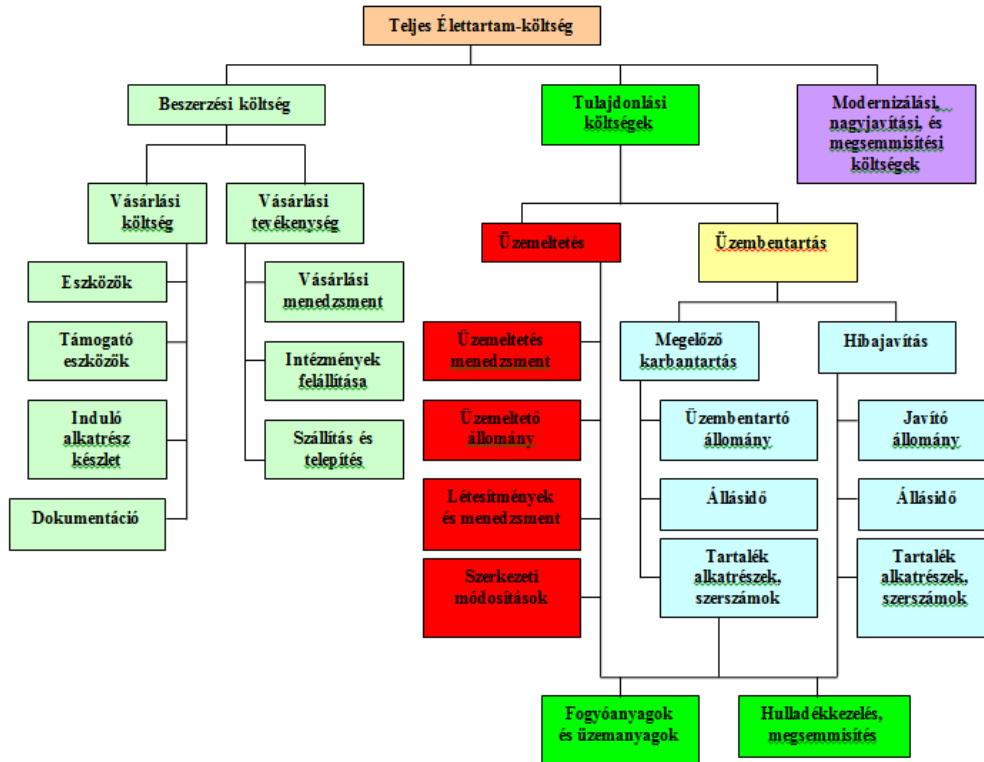
A **modernizálási, nagyjavítási, illetőleg a megsemmisítési költségek**, amelyek közül az első kettő akkor, ha az adott termék használata, üzemmentartása hosszútávon is folytatódik, *jelentősek*

<sup>5</sup> III. fejezet. [31]

<sup>6</sup> III. fejezet

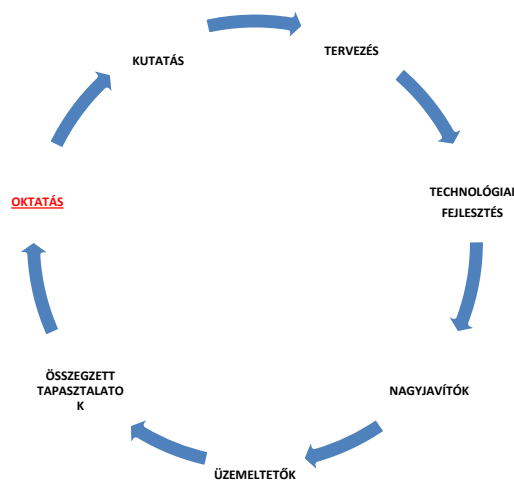
<sup>7</sup> 322. oldal: MTBF - Mean Time Between Failures

lehetnek<sup>8</sup>, a megsemmisítésé pedig a folyamatosan szigorodó környezetvédelmi előírások miatt egyre jobban növekedik. A fentiekben részletezett költségösszetevőket az 3. ábrán mutatom be. [7]



3. ábra Az élettartam költségek alapvető összetevői

Az értékelhető eredmények eléréséhez azonban a „szereplőknek” egy új együttműködési kapcsolat rendszert kell felépíteniük (4. ábra):



4. ábra A repülőeszközök életciklusának „főszereplői” „horizontális” kapcsolatrendszere

***A gyártó(javító)vállalatok és az üzembentartó szervezetek együttműködése ezen elv alkalmazása esetében is nélkülözhetetlen,*** de ez a kapcsolatrendszer minőségileg egészen más köve-

<sup>8</sup> Ez a repülőgépiparban az új eszközök beszerzési költségének 30 - 60%-át, mint a rentabilitás határértékét is elérhetik.

telményeken alapszik és nagyon felértékelődik az üzemeltető szervezetek egymás közötti együttműködése, a kutatás-fejlesztés, diagnosztika és az oktatás. Itt a kezelt paraméterek valós értékeit és a peremfeltételekhez való viszonyát az üzemeltető saját maga vizsgálja(hatja) és elemzi, amely a repülőtechnika teljes üzemidő tartalékainak, lehetőségeinek kidolgozásához és az üzemeltető szempontjából is értékelhető gazdaságossági eredményekhez vezet. Ezt meg csak úgy lehet elérni, ha az üzemeltetés, üzemeltetés folyamatában sikerül szellemi hozzáadott értéket teremteni, hozzáadni, mert manapság a saját repülőgépi iparral nem rendelkező országok üzemeltetőit a gyártók csak primitív bérmunkára kényszerítik. Ebből a helyzetből kitörni pedig a diagnosztikai képességek fejlesztésével lehet csak, ami meg nem lehetséges a képzés, oktatás megfelelő színvonala nélkül. A gyártók nagyon tévednek, amikor az állapot szerinti üzemeltetés látszatával végtelenségig „lebutítják” az üzemeltetővel szembeni követelményeket. **El akarják felejtetni, hogy a repülőeszközök életciklusának biztosítása egy zárt lánc-folyamat, amiben ha van egy gyenge láncszem, akkor az egész lánc lesz olyan gyenge, mint az egyetlen láncszem!** A gyenge üzemeltetési láncolat a gyártó szempontjából bizonyos pontig gazdasági hasznot hoz, de a repülés biztonságát pedig veszélyezteti. Ez olyan ár, amikor már meg kell gondolniuk, hogy nem jobb-e osztozni a hasznon az üzemeltetővel, ami a saját létük meghosszabbítását, fejlődési lehetőségeinek kihasználását is jelentheti.

## II. AZ ÜZEMELTETŐ DIAGNOSZTIKAI KÉPESSÉGEINEK HATÁSA AZ ÜZEMELTETÉS GAZDASÁGOSSÁGÁRA

### 1. A repülőgépi különböző szerkezeti elemeinél használható roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek (NON-DESTRUCTIVE EVALUATIONS):

A Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzemében alapvetően az üzem laboratóriumainak szakemberei, a repülőgéppark állapotfelmérésére és állapotváltozásának rögzítésére az alábbi roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket alkalmazzák [13][14]:

- vizuális ellenőrzések;
- festékpenetráció;
- mágnes-poros;
- röntgen;
- ultrahangos;
- akusztikus-impedanciás;
- endoszkópia;
- örvényáramos.

Az 1. számú táblázatban mutatom be például a MiG-29 típusú repülőgépi sárkányszerkezetének teherviselő elemeinél – a jelenlegi lehetőségek figyelembevételével általam megfelelőnek és alkalmazhatónak ítélt – roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket. [1][2][6]

Repülőgép szerkezeti eleme:	Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer (NDE)					
	Optikai (vizuális)	Mágneses	Festék-penetrációs	Röntgen	Ultraszónikus	Örvényáramos
Monolitikus panelek borítása	☀	⊗	◇	◇	◇	☀
Hosszanti tartóelem készletek	☀	⊗	◇	☀	◇	☀
Hossztartók övlemezei	☀	⊗	◇	☀	☀	☀
Hossztartó gerinc	☀	⊗	◇	⊗	◇	☀
Bordák övlemezei	☀	⊗	◇	☀	☀	☀
Törzskeretek övlemezei	☀	⊗	◇	◇	◇	☀
Törzskeretek gerincelemei	☀	⊗	◇	⊗	◇	☀
Keresztirányú csatlakozó „fittingek”	◇	⊗	⊗	◇	☀	◇
Csatlakozások átkötő elemei	◇	⊗	⊗	☀	◇	◇
Ellenőrzőnyílások megerősített fedelei	☀	⊗	◇	◇	◇	☀
Kivágások rálapoló szegélyei	☀	⊗	☀	◇	◇	☀
Monolit elemek kivágásai rálapoló szegélyei	☀	⊗	☀	◇	◇	☀
Berendezések beerősítési csomópontjai	☀	☀	☀	⊗	☀	◇
Rögzítő-csapok, (tő)csavarok	◇	☀	☀	⊗	☀	⊗
Szegecsek	☀	⊗	☀	⊗	◇	⊗

1. táblázat

Jelmagyarázat: ☀ - széles körben alkalmazható; ◇ - korlátozottan alkalmazható; ⊗ - nem alkalmazható.

Perspektivikus eszközök:

- rezgésdiagnosztika;
- tribológia;
- termográfia;
- radiográfia;
- nyúlásmérő bélyegek [16];
- ultrahangos szivárgásdetektáció;
- nanotechnológia.

A diagnosztikai lehetőségek bővülésére alapozottan a repülőszerkezeteket és hajtóműveiket, közlőműveiket a **ténylegesen állapot szerinti üzemeltetési stratégiának** megfelelően, komplex diagnosztikai egységként, napjainkig csak kevesen vizsgálják. Az eddig közismertté vált állapot szerinti üzemeltetésnek nevezett, de inkább marketing célzatú módszerek egy

fajta költségmegtakarítást eredményeznek. Az ilyen üzemeltetési stratégiákban a repülés biztonságát döntően befolyásoló komplex kockázatelemzés, a sárkányszerkezet, a hajtóművek és közlőműveik - helikopterek esetében a forgószárnylapátok - hatékony, minden repülőgéptípusra, hajtóműre és közlőművére egyaránt alkalmazható vizsgálati módszerek nincsenek kidolgozva, csak az adott repülőgépre, a gyártó hosszú távú gazdasági érdekeit kiszolgáló megoldások léteznek. A javítási költségek az új berendezés árának 60%-át is elérhetik, de a gyártók által előírt kötelező javításokat meghatározó üzemidők, működési számok, ciklusok vagy a műszaki-technikai állapotokat meghatározó peremfeltételek jelentős működési tartalékokat hagynak a berendezésekben és a repülőgépben. Ez a javítást végző vállalatok ténylegesen szükséges humán és pénzügyi erőforrás ráfordításait jelentősen lecsökkentik, ami a javítónak nagy nyereséget, a fenntartónak, megrendelőnek pedig fölösleges kiadást, veszteséget jelent. Megítélésem szerint ezért az általuk használt megnevezésével ellentétben és valószínűleg tartalmát tekintve ez nem nevezhető tényleges állapot szerinti üzemeltetésnek. Éppen ezért nagy jelentőséggel bír az, hogy a **tervszerű megelőző karbantartásra épült üzemeltetési stratégia szerint üzemeltetett MiG-29 típusú repülőgéppel rendelkező országok közül elsőnek a világon a Magyar Honvédségnél sikerült gyakorlatban is bevezetni a tényleges állapot szerinti üzemeltetés stratégiáját**, ami jó esélyt ad a Magyar Honvédségnél ma még meglévő magas szintű üzemeltetési kultúra, szellemi kapacitások megőrzésére. Ennek révén úrrá tudunk lenni a kialakult negatív folyamatokon, ami napjainkban sajnálatosan arra irányul, hogy az importból beszerezhető repülőgépeinket, egyre inkább „importált” szakemberek is üzemeltessék. A hazai szakemberekre egyre inkább csak a kevésbé kvalifikált munkálatok jutnak. A magas és állandóan növekvő üzemeltetési költségek mellett élnünk kell a saját szellemi és humán erőforrásainkból adódó előnyökkel, a tényleges állapot szerinti üzemeltetés adta lehetőségekkel, ami jelentős költségmegtakarítást eredményez (ez 30-40%-ot is kitehet, lásd 2. táblázat). E mellett szól az is, hogy a bevezetésével elérhető pozitív eredmények, **repülőgép típustól függetlenül**, bármely jelenleg vagy jövőben rendszerbe állítandó repülőeszközöknél is realizálhatók. Ehhez a diagnosztikai módszereket folyamatosan gyarapítani, modernizálni és egy komplex rendszerbe szükséges integrálni. Az értékelésekhez szükséges adatbázisokat, szoftvereket folyamatosan bővíteni, fejleszteni kell, és így az új üzemeltetési stratégia a gyakorlatban is hatékony, költségta-  
karékos megoldást fog eredményezni.

A Magyar Honvédségnél a tényleges állapot szerinti üzemeltetésre történő áttérés csak úgy válhatott lehetővé, hogy az üzemeltető állományunk - ezen belül kiemelten a MH Légijármű Javítóüzem és a Kecskeméti Repülőbázis szakembergárdája - már hosszú ideje nem csak képes alkalmazni a korszerű roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket, technológiákat, egyéb diagnosztikai eszközöket, hanem az auditált laboratóriumaikban fejlesztik is azokat. Így képesek megalapozott, kellő mélységű, nagy pontosságú és megbízhatóságú műszaki-technikai állapotfelméréseket végezni, amit a repülőgép sárkányszerkezetein magas szintű javítási-helyreállítási tevékenységgel be is tudnak fejezni.

## 2. ÖSSZEFOGLALÓ VÉGKÖVETKEZTETÉS

A helyesen megválasztott és az adott típushoz adaptált diagnosztikai eszközökkel, műszerekkel a repülőgépek, hajtóműveik, közlőműveik és egyéb berendezéseik tényleges műszaki állapota nagy pontossággal meghatározható. Amennyiben a vizsgálatok eredményeit megfelelően képesek vagyunk kiértékelni, akkor megnyílik a lehetőség más, költséghatékony üzemeltetési stratégiák bevezetése előtt.

Az azonos típusú, azonos ledolgozott üzemidővel rendelkező repülőeszközök az üzemeltetési és üzemeltetési tényezők különbözősége miatt jelentősen eltérő műszaki-technikai állapotban lehetnek. Ezért új megközelítési módszerek kidolgozása vált szükségessé, amelyek alapján biztonságosan megállapítható a repülőgépeken végzendő időszakos és javítási munkák mélysége, mennyisége, tartalma és periodicitása. **Erre jelenleg legalkalmasabb a tényleges műszaki állapot szerinti üzemeltetés.** Ismeretes, hogy a repülés biztonságát a repülőgép összes fedélzeti rendszere befolyásolja, de a repülőgép élettartamát is meghatározó legfontosabb elem a sárkányszerkezet. Ahhoz, hogy a repülőgép tényleges élettartama kiszámítható legyen, meg kell valósítani a teherviselő és erőátviteli szerkezetek üzemeltetése során létrejövő elváltozásainak megfelelő kontrolját és ismerni kell az elváltozások időbeni lefolyását. Ennek leghatásosabb módja a szerkezeti elemekben létrejövő repedések kifejlődésének és teherviselő képességükre gyakorolt hatásukat leíró számítási modell felállítása. Így meg lehet állapítani a meghibásodásokkal szembeni érzékenységet, a szerkezetek ellenálló képességét, az első ellenőrzésig lerepülhető időt, a további ellenőrzések ciklusidejét, az össztechnikai üzemidőt, azaz általában az üzemidőket. A fentieknek alapján a Magyar Honvédség MiG-29 típusú repülőgépei sárkányszerkezetén és fedélzeti rendszerein először és úttörőként sikeresen végig lehetett is vinni az állapot szerinti üzemeltetésre történő átállás programját, ami megfelelő adaptációval más repülőgép típusok esetében is eredményesen alkalmazható lesz a jövőben is.

Vizsgálataim szerint a hajtóművek és közlőművek esetében is a működést jellemző paramétereken kívül a vibrációs, a tribológiai és az endoszkópos ellenőrzéseket egy komplex rendszerbe célszerű integrálni. A gyári új vagy ipari javítások utáni állapotukat jellemző, illetőleg az üzemeltetés folyamán keletkezett jellegzetes meghibásodások paraméterértékeit, adatait és a technológiákban még megengedett üzemeltetési paraméterek szélsőértékeit, etalonként kell kezelni. Ezeket az adatokat az aktuális mérések eredményeivel folyamatosan összehasonlítva, már lehetővé válik a hajtóművek és a közlőművek állapotának, valamint működőképességének egyszerű meghatározása, azaz az üzemeltetők érdekeit szolgáló tényleges állapot szerinti üzemeltetés stratégiájának bevezetése.

Ez a kiszolgálási módozat kielégíti a tényleges állapot szerinti üzemeltetési stratégia követelményeit úgy, hogy **egyúttal a repülés biztonsága is javul.** A jelentős humán és materiális erőforrásokat igénylő ipari javítások megszüntetése, a közvetlen kiszolgálási tevékenység egyszerűsítése, a szükséges berendezés és elemcserék számának csökkenése, a javítás közti üzemidők növekedése, ezzel a szükséges munkaráfordítások csökkenése meghozza az elvárható gazdaságossági eredményeket. A számítások azt mutatják, hogy az állapot szerinti üzemeltetés bevezetésével, a költség-elemek átlagosan 34,2%-al, az egy repült órára eső költségek pedig 39,5%-al csökkenhetnek és az elérhető össztechnikai üzemidő nyereség is jelentős: (2. táblázat)



Ez egészen **n•1000 óráig** vagy **n•10 év naptári idő lejártáig** mehet

Ahol az **n = 3-5** [6]<sup>9</sup>

**EMLÉKEZTETŐÜL - AZ EREDETI ÖSSZTECHNIKAI ÜZEMIDŐ 2500 ÓRA VAGY 20 ÉV VOLT, SZEMBEN A JELENLEGI 5000 ÓRA VAGY 50 ÉV LEHETŐSÉGÉVEL!**

**Az üzemeltetési költségek változása:**

A MiG-29-es típusú repülőgépek állapot szerinti üzemeltetésének gazdaságossági értékelését az egy repült órára eső költségek összehasonlítása alapján végeztem el. Tekintettel arra, hogy a kiszolgálási rendszerünk alig tér el a gyártó előírásaiban meghatározott üzemeltetési módozattól, így az ő költség-meghatározásuk a hazai viszonyokra is adaptálható volt.

Költségelemek a következők:

- a kiszolgáló állomány személyi és bérköltségei;
- a kenő az üzem és tüzelőanyag költsége (továbbiakban – üzemanyagköltségek);
- az üzemképesség fenntartásának, biztosításának költsége (üzemeltetés);
- a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei.

Az összehasonlítást az 2. számú táblázatban és az 5. számú ábrán mutatom be.[4;5][6]<sup>10</sup>

A üzemeltetési filozófiák egy repült órára jutó költségeinek összehasonlítása:

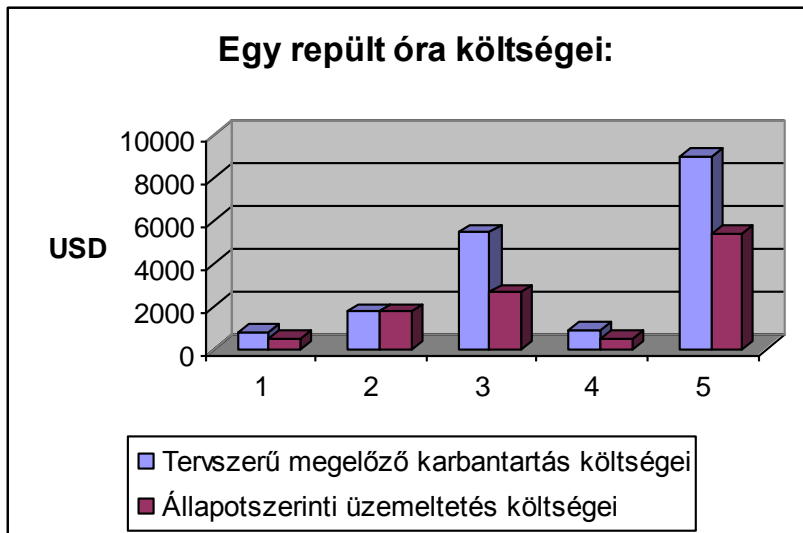
Költségelemek megnevezése	MiG-29 egy repült órára eső költségösszetevők:				Költség csökkenés %-ban
	Tervszerű megelőző karbantartás költségei		Állapot szerinti üzemeltetés költségei		
	USD	Összköltség %-ban	USD	Összköltség %-ban	
a személyi állomány bérköltségei	813	9, 3	491	9, 0	39, 6
a kenő és üzemanyag-költségek	1767	19, 7	1767	32, 6	0, 0
az üzemképesség fenntartásának költségei	5444	60, 8	2657	49, 0	51, 2
a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei	920	10, 2	497	9,4	46, 0
A költségelemek csökkenése átlagban					<b>34.2</b>
<b>Repült órára eső összesített költségek</b>	<b>8944</b>	100, 0	<b>5412</b>	100, 0	<b>39, 5</b>

2. táblázat

8944USD - 5412USD = 3532USD (csökkenés = 39,5%)

<sup>9</sup> 166. oldal (megjegyzés: a MiG-29K/KUB estében, a repült időre vonatkozóan az n= 5-7 is lehet)

<sup>10</sup> 158. oldal



5. ábra A különböző üzemeltetési stratégiák egy repült órára jutó költségeinek összehasonlítása
1. a személyi állomány bérköltségei; 2. a kenő az üzem és tüzelőanyag költségek;
  3. az üzemképesség fenntartásának költségei; 4. a földi kiszolgáló eszközök fenntartási költségei;
  5. összesített költségek.

A 2. táblázat és az 5. ábrán látható, hogy az állapot szerinti üzemeltetésre való áttéréssel **a repülőgépek üzemeltetési költségei közel 40%-kal csökkentek.**

A közvetlen kiszolgálás egyszerűsödése következtében az ipar javítások humán erőforrás igénye drasztikusan lecsökkent, így a kiszolgáló személyzethez köthető költségek 39,6%-kal lettek kevesebbek.

Az üzemképesség biztosításának költségei 51,2%-ot, a szükséges földi kiszolgáló eszközök számának csökkenése miatt a fenntartási költségei pedig 46%-ot estek.

A költségek csökkenésének fő okai:

- a jelentős humán és materiális erőforrásokat igénylő ipari javítások megszüntetése, a megbízható ellenőrző és diagnosztikai eszközök és módszerek alkalmazása;
- a közvetlen kiszolgálási tevékenység egyszerűsítése a szükséges munkaráfordítások csökkentése;
- az ellenőrzések megbízhatósági szintjének növekedése, amely lehetővé tette a javítás közti üzemidők megnövelését, ezzel a szükséges berendezés és elemcserék számának csökkenését.

**A tényleges állapot szerinti üzemeltetés bevezetése – hangsúlyozottan az üzemeltetők szempontjából – alapvető előnyöket eredményez!**

**Üzemeltetési stratégia** – Üzemeltetési módszerek előírásrendszere, amely lehetővé teszi a műszaki üzemeltetés folyamatának, s azon keresztül a légi jármű üzemállapot-változási folyamatának olyan irányítását, hogy a légi járműnek, mint az üzemeltetés tárgyának üzemi megbízhatósága, repülésbiztonsága az előírt szinten maradjon [8]<sup>11</sup>.

**Üzemeltetés** – A haditechnikai eszköz rendeltetésének megfelelő használata, alkalmazása [9]<sup>12</sup>.

A légi-jármű létezési formájának összessége, és minden olyan tevékenység, amelyet ezekben a létezési formákban végeznek. Ide tartozik a légi-jármű tárolása, szállítása rendeltetésének megfelelő használata, karbantartása, javítása és e helyzetek bármelyikére való várakozása. (Vagyis mindaz, ami a légi-járművel előállítás után történik.) A légi-jármű létezési formáit üzemeltetési állapotoknak nevezzük [8]<sup>13</sup>.

**Üzembentartás** – Az üzemképes haditechnikai eszközökre irányuló üzemfenntartási tevékenységek együttese.[9]<sup>14</sup> (Üzemfenntartás nem más, mint állagmegóvás, folyamatos üzemképesség és a megfelelő technikai állapot fenntartása, üzemeltetési tartalék visszaállítása, illetve az eredeti állapotot megközelítő helyreállítása.)

**Tervszerű megelőző karbantartás** – Tervszerűen, adott üzemidő ciklusonként olyan karbantartási és javítási munkákat végeznek, amelyek célja a meghibásodások feltárása, elhárítása és megelőzése [8].<sup>15</sup>

**Karbantartási stratégia** – Műszaki karbantartási módozat, ami minimális összköltséggel jár és kielégíti az alábbi célkitűzéseket:

- a berendezésben a tervezés eredményeként rejlő megbízhatósági szint fenntartása. Ennél a belső szintnél magasabbat karbantartással elérni nem lehet;
- a megbízhatóság visszaállítása a berendezésben a tervezés eredményeként rejlő szintre, ha romlás következne be. Más szóval, javításnak kell alávetni az egységeket, hogy az eredeti, tervezett megbízhatósági szint helyreállítódjon;
- annak megállapítása, hogy mely egységekben nem kielégítő a megbízhatóság, és a szükséges információ összegyűjtése a gyártó részére, hogy a nagyobb megbízhatóság céljából áttervezhesse ezeket az egységeket. [8]<sup>16</sup>

**Megbízhatóság** – A légi jármű szerkezetének (rendszerének, berendezésének, elemének vagy akár az egész üzemeltetés rendszerének) azon tulajdonságát, hogy előírt funkcióit teljesíti, miközben meghatározott üzemeltetési mutatók értékeit az üzemeltetés, a műszaki karbantartás, a javítás, a tárolás és a szállítás előre megadott üzemmódjai feltételeinek megfelelő, előírt határok között az időben megőrzi. A megbízhatóság összetett tulajdonság, mely magába foglalja a hibamentességet, a tartósságot, a meghibásodások elleni érzéketlenséget, az ellenőriz-

---

<sup>11</sup> 18; 19. oldalak

<sup>12</sup> 50. oldal

<sup>13</sup> 13. oldal

<sup>14</sup> 53. oldal

<sup>15</sup> 318. oldal.

<sup>16</sup> 319. oldal

hetőséget, az üzemeltethetőséget, karbantarthatóságot, a tárolhatóságot stb. [8]<sup>17</sup>

**Repülésbiztonság** – A légi jármű rendeltetésének megfelelő használatra való alkalmassága. Azaz a légi jármű maradék üzemideje a tervezett repülési feladat végrehajtására elegendő, amelyen minden előírt karbantartási, javítási és utómunkákat maradéktalanul elvégeztek, amelyeket a repülésre megfelelően előkészítettek, amelyen a repülés megkezdése előtt minden elem, berendezés, rendszer üzemképes, hibátlan állapotban volt, s az előírt követelmények (pl. légköri viszonyok) között fog repülni, milyen valószínűséggel képes maradéktalanul teljesíteni a kitűzött repülési feladatot. Ezt a tulajdonságot egyébként gyakran a repülőgépre „*betervezett repülésbiztonságnak*” is nevezik [8]<sup>18</sup>.

**Meghibásodás** – esemény, amely a hajtóműegység, berendezés, szerkezet előírásos, működőképes állapotának elvesztését jelenti. [8]<sup>19</sup>

**Üzemképesség** – a hajtómű azon állapota, amikor rajta minden előírt karbantartási, javítási és közlőmunkákat elvégeztek. Rendszerei, berendezései, elemei hibátlanul működnek, üzemállapotuk műszaki jellemzői az előírt határok között vannak, s a hajtómű nem érte még el határállapotát, (olyan állapot, melynek elérése után a hajtómű további rendeltetészerű használatra alkalmatlan) és annak eléréséig hátralévő idő lehetővé teszi a repülési feladat végrehajtását. A hajtómű az előírásoknak megfelelően a repülésre elő van készítve [8]<sup>20</sup>.

**Üzemidő** – a hajtóművek technikai dokumentációjában rögzített és meghatározott határállapotáig történő üzemidő. [nagyjavításig; javítások közötti (kis; közép; profilaktikus); ösztéchnikai]. [3]<sup>21</sup>

**Ösztéchnikai üzemidő** (valós műszaki élettartam) – Az üzemeltetés (üzembeállítás) kezdetétől számított működési idő, amely alatt légi jármű (hajtómű) eléri azon határállapotát, amikor már semmilyen körülmények között nem üzemeltethető tovább, és nem javítható [8]<sup>22</sup>. Ezt az üzemidő értéket alapvetően a repülésbiztonsági követelmények, elvárások határozzák meg, de döntően befolyásolják az üzembentartás gazdaságossági tényezői is. [3]<sup>23</sup>. Megjegyzés: *Az üzemidőt lehet a Repült idő, Naptári üzemidő, és a Működési szám (pl.: leszállások száma; lövések száma stb.) szerint meghatározni, illetőleg korlátozni.*

**Garantált technikai üzemidő** (garantált élettartam) – Az üzemeltetés (üzembeállítás) kezdetétől számított működési idő, amelynek leteltéig a tervező és gyártó cégek garantálják (de nem garanciát vállalnak arra), hogy az üzemeltetés tárgya az előírt üzemeltetési körülmények és feltételek mellett biztonságosan használható. A tervező és gyártó cégek az élettartam garantálásakor előírják az általuk jóváhagyott üzemeltetési stratégia kötelező alkalmazását, és fenntartják maguknak a jogot az üzemeltetési rendszer, a stratégia ellenőrzésére, az egyes üzemel-

<sup>17</sup> 98. oldal

<sup>18</sup> 90-91. oldal

<sup>19</sup> 100. és 319. oldalak

<sup>20</sup> 99. oldal

<sup>21</sup> 10. oldal

<sup>22</sup> 100. oldal

<sup>23</sup> 10. oldal

tető szervezetek által bevezetendő változtatások felülbírálására [8]<sup>24</sup>. Megjegyzés: *A repülőeszközök dokumentációjában gyakran ezt az üzemidőt tüntetik fel össztechnikai üzemidőként. Ez a repülőeszköz élete során növekszik, és közelít a valós műszaki élettartamhoz, ami az üzemeltetési tapasztalatok, és a diagnosztikai eszközök fejlődésével szintén növekedhet.*

Az előző két meghatározásnak megfelelően létezik **Karbantartások közötti (időszakos), Javításközi és Garanciális üzemidő.**

**Műszaki üzemeltetés** – A légi járművek üzemeltetési rendszerének egy alrendszere, amely hivatott biztosítani a légi járművek megfelelő műszaki színvonalát sajátos, szigorúan szabályozott műszaki tevékenységi rendszerével (ellenőrzések, alkatrészcsere, karbantartások, felújítások, szerkezeti módosítások végrehajtását stb.) [8]<sup>25</sup>.

**Tribológia** – az egymáson elmozduló alkatrészek kölcsönhatásának, azaz súrlódásának, kopásának és kenésének tudománya [10]<sup>26</sup>. Megjegyzés: A nemzetközi tudományos világban az 1970-es évektől számít önálló ágazatnak. A gépek élettartamát csökkentő kopás ellen alkalmazott kenőanyagok és szűrők fejlesztése ma már csak a legfejlettebb tudományos és technológiai ismeretek birtokában lehetséges. [11][12]

**Endoszkópia jelentése a görög nyelvből** – benézés, ami általában az emberi test belsejébe való betekintést jelenti annak megfigyelése céljából, mégpedig egy diagnosztikai műszer, az endoszkóp<sup>27</sup> segítségével. Az endoszkóp ipari/technikai (merev) változata a boreszkóp, ami az ipari termékek, zárt szerkezetek belső tereinek megtekintésére szolgál olyan esetekben, amikor a közvetlen megfigyelésre nincs lehetőség<sup>28</sup>.

---

<sup>24</sup> 100. oldal

<sup>25</sup> 14. oldal

<sup>26</sup> 1.1. Fejezet

<sup>27</sup> Endoszkóp - optikai üvegszálak elmélete alapján készített hajlékony fényvezető cső megvilágítással.

<sup>28</sup> <http://hu.wikipedia.org/wiki/Endoszk%C3%B3pia>

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Беда П.И.; Глазков Ю.А.; Шелихов Г.С. и др. Дефектоскопия Деталей при Эксплуатации Авиационной Техники. Справочник. М.: «Воениздат» 1978 г.
- [2] Клюев В.В. и др. Неразрушающий Контроль и Диагностика. Справочник. М.: «Машиностроение» 1995 г.
- [3] Кеба И.В. Диагностика Авиационных Газотурбинных Двигателей. М.: «Транспорт» 1980 г. УДК 629.7.03; 658.562(022)
- [4] Методика Определения Потребных Затрат на Эксплуатацию Авиационной Техники ВВС в Условиях Реформирования МО РФ. В/ч 75360, 2001-100 с.
- [5] Общие Требования к Программе ТО и Р Летательных Аппаратов Военного Назначения. Эксплуатационные Характеристики АТ. Ч.1.; Выпуск № 6405, 1991 г.
- [6] Слободской А.Б.; Ерегин В.В. «Исследования по Обеспечению Перевода Самолетов МиГ-29 ВВС Венгрии на Эксплуатацию по Техническому Состоянию» Технический Отчет ОКБ им. А.И. Микояна и ФГУП РСК МиГ. 18 марта 2002 г.
- [7] Dr. Keszthelyi Gyula A hatásalapú műveletek logisztikával szemben támasztott újszerű kihívása Doktori (PhD) értekezés 2008.
- [8] Dr Rohács József; Simon István Repülőgépek és Helikopterek üzemeltetési zsebkönyve Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989 (ISBN: 963 10 714 7)
- [9] Dr. Turcsányi Károly A haditechnikai biztosítás alapjai (I.) MH ZMKA 1995
- [10] Dr Valasek István, Törös Mihályné Tribológia Képzőművészeti Kiadó 2005 (ISBN [43] <http://mek.oszk.hu/01100/01183/01183.pdf> (1999) 9789633370148)
- [11] <http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bhu/hun/02-applications/01-wear-tribology/indexW3DnavidW263.php> (2006-2010)
- [12] <http://wcs.oisz.hu/11675/tribologia-budapest/autotrib-tribologiai-kutato-es-fejleszto-kft.html> (2010 június)
- [13] Gyenes G.-Svehlik J. A roncsolásmentes anyagvizsgálatok (Non-Destructive Evaluation) szerepe és jelentősége a légijárművek állapotfelmérésében, üzemidő hosszabbításában és állapot szerinti üzemeltetésében "Új évezred, új technológia" Tudományos konferencia, Szolnok, ZMNE BJKMK RMI, 2006. április 21. (CD adathordozón kiadva)
- [14] Kavas L. – Dr. Békési L. – Vonnák I. P.: Roncsolásmentes anyagvizsgáló módszerek alkalmazásának tapasztalatai "Új évezred, új technológia" Tudományos konferencia, Szolnok, ZMNE BJKMK RMI, 2006. április 21. (CD adathordozón kiadva)
- [15] Dr Vonnák Iván Péter A repülőtechnika állapot szerinti üzembentartása, mint a katona repülőeszközök fenntartási költségei csökkentésének leghatékonyabb eszköze Doktori (PhD) értekezése 2011. április 14.
- [16] <http://mek.oszk.hu/01100/01183/01183.pdf> (1999)



Restás Ágoston, PhD<sup>1</sup>

## A LÉGI TŰZOLTÁS HATÉKONYSÁGÁNAK KÖZGAZDASÁGI MEGKÖZELÍTÉSE<sup>2</sup>

*A légi tűzoltás köztudomásúan nagyon drága megoldás, bár kétségtelenül nagyon hatékony is. A utóbbi értelmezése azonban eltérő lehet a tűzoltás irányítását végzők és közgazdászok nézőpontjából. A közgazdasági szempontú hatékonyság sokkal szigorúbb, mint a szakmai értékelés szerinti, mivel a légi tűzoltás költségei nagyon magasak. Emiatt, szükségszerű azt a közgazdasági szempontú kritériumának oldaláról is megvizsgálni. A tanulmány olyan alapvető téveszmékre is rámutat, amelyek segítségével a marketing rendre túlértékeli az oltóanyagok képességeit, vagy magát a légi tűzoltást is. Nem kétséges, hogy nagyon bonyolult mindazon körülményeket és feltételeket számbavétele, amelyek a légi tűzdetektálást, felderítést, oltást befolyásolják, vagy csak az oltóanyag megválasztásánál szóba jöhetnek. Ennek ellenére, mégiscsak találhatunk néhány olyan rendezőelvet, amelyek a jelenleginél hatékonyabban segíthetnek az ezek közötti eligazodásban.*

### **ECONOMICALLY BASED EFFICIENCY OF AERIAL FIRE FIGHTING**

*Aerial fire fighting is a very expensive solution, however no doubt, also very effective. But the meaning of efficiency for fire managers can be different from the meaning of efficiency for economists. Economically efficiency is more strictly than technical efficiency; since aerial fire fighting is very expensive, it isn't useless to study it by the criteria of real economical efficiency. This study points at principle mistakes used often by marketing to overrate the advantages of some aerial product, agent or procedure. No doubt, it is very difficult to calculate with all circumstances and assumptions what is found during fire fighting process such as aerial patrol for detecting hot spots or fly for reconnaissance, bombing just water or choose also agent, etc. but there are some theory what can help us to rate the economical effectiveness of aerial product, agent or procedure more precise than rated nowadays by the marketing.*

## BEVEZETÉS

Az erdőtűzek oltását végző szakemberek egyöntetű véleménye alapján kijelenthető, hogy a légi tűzoltás hatékony módszer. A költségei azonban horribilisek. Egy-egy mediterrán ország szakértőivel beszélve elképesztő számokat hallhatunk; az erdőtűzoltásra fordított éves kiadások, 50-80 %-át is kitehetik a légi tűzoltás közvetett és közvetlen költségei. Az elhangzott arányok olyan torznak tűnhetnek, hogy önkéntelenül is felvetődik a hatékonyság kérdése. Ennek fogalmát definiálva, a különböző szakterületek művelői között - eltérő prioritások, különböző élethelyzetek, stb. miatt - gyakran alakul ki vita. A tűzoltók munkájára koncentrálna megállapítható, hogy a hatékonyság kérdését a különböző döntési szinteken más-más formában ítélik meg. Egy agilis tűzoltóparancsnok igyekszik minden tőle telhetőt megtenni azért, hogy a rendelkezésére álló humán, technikai és anyagi erőforrások a lehető legszélesebb körben rendelkezésére álljanak. Így aztán bármilyen fejlesztésről legyen szó, mindenki - akár

<sup>1</sup> egyetemi docens, mb. tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

mások rovására is - a legjobb pozíciókat igyekeznek kiharcolni. Ez a viselkedés nem kritizálható, hiszen a parancsnok csak azt teszi, amire esküje felhatalmazza, illetve kötelezi: minden tőle telhetőt megtesz a szakmailag hatékony tűzoltás feltételeinek megteremtéséért.

A repülőgépek és helikopterek alkalmazásának költségei köztudomásúan nagyságrendekkel nagyobbak, mint a hagyományos eszközöké. Így elkerülhetetlennek tartom, hogy felhasználásuk feltételeit gazdaságossági szempontú megközelítéssel is megvizsgáljam.

## A LÉGI TŰZOLTÁS GAZDASÁGOSSÁGI VIZSGÁLATA

### Veszteségek és költségek

A gazdaságosság elsődleges kritériuma, hogy a tűzoltás során felhasznált élőerő, eszköz és anyagok költségei -, vagyis a ráfordítás – kisebbek legyenek, mint a nemzetgazdasági szinten vett megmentett érték. Ellenkező esetben, csak gazdaságossági értelemben az oltás ráfizetéses. Megállapítható, hogy a gazdaságosság figyelembevétele elemi szinten már megjelenik a Tűzoltási Szabályzat<sup>3</sup> 32.4 bekezdésében is. Ennek értelmében a tűzoltásvezető *kötelessége azokban az esetekben, ha a keletkezett tűznek nemzetgazdasági szempontból nincs jelentősége vagy eloltása a megmentett értékkel nem jár, dönteni – a gazdasági (erő-, eszköz-, oltóanyag felhasználás) és környezetvédelmi szempontok figyelembevételével – a tűz oltásáról vagy a teljes elégtel felügyeletéről úgy, hogy a tűzesettel összefüggésben járulékos kár ne keletkezzen.* Az egyéb tűzoltási tevékenységek részletesebb gazdaságossági elemzésétől eltekintve, az erdőtüzek esetében a következő veszteségek értelmezhetők [1]:

**Közvetlen megsemmisült érték:** Az erdőállomány, - főként az élőfa készlet, - mint a gazdálkodás tárgya pénzben kifejezhető értékkel bír, ami függ az egységnyi területen lévő faállomány összetételétől és korától, mennyiségétől.

**A kiesett fa értéke:** Az erdőfelújítás után bizonyos idővel (kb. 10 év) az erdő fejlődésének üteme azonosnak vehető a leégett erdőállomány fejlődési ütemével. Az addig ki nem termelhető állomány kárként jelentkezik.

**Közvetett kár:** Idetartozik az újratelepítéshez történő talaj előkészítés, ami a leégett állomány kitermelési költségét is magába foglalja.

**Eszmei kár:** Az elpusztult erdők eszmei értékét megállapítani és pénzben kifejezni nagyon nehéz, igazából lehetetlen. A nemzetközi gyakorlat a pusztulás materiális értékének 10 – 20 szorosát tekinti eszmei kárnak. [2]

Az oltás során a következő költségek jelentkeznek:

- az élőerő költsége;
- az eszközök működési költsége;
- az eszközök amortizációja;
- az oltóanyag költsége;
- egyéb költségek.

---

<sup>3</sup> Tűzoltási szabályzat

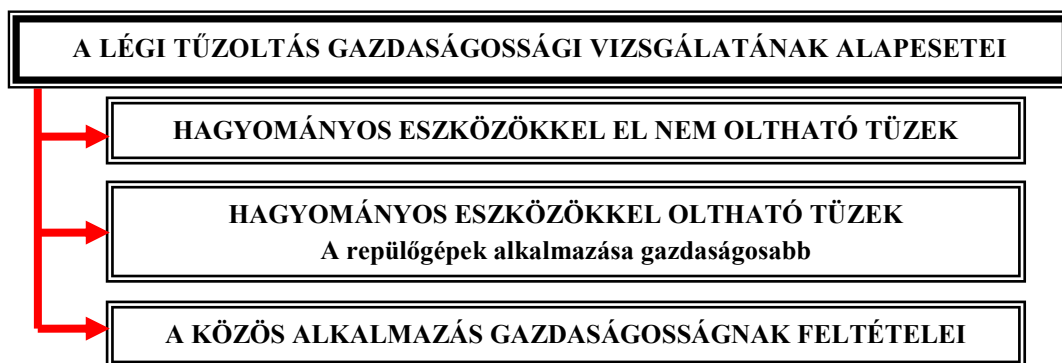


Amennyiben akár felderítésre, akár légi tűzoltásra repülőgépeket (is) alkalmaznak, úgy azok összes költsége szintén az oltás költségeit növeli.

A továbbiakban a légi tűzoltás költséghatékonyságának elvi alapjait fogalmazom meg. A fenti általánosságokon túllépve a gazdaságosság kritériumait az alábbiak alapján értelmezem.

### A gazdaságosság vizsgálatának alapesetei

Az alapesetek felállítása és vizsgálata során azonos kezdeti feltételeket állítok, azaz a tűz szabad terjedésének ideje alatt leégett terület minden esetben azonos, így az oltás megkezdésének idejéig keletkező terület elkerülhetetlennek veszem ( $A_{\text{abszolút}}$ ), melynek „K” kárértéke így abszolút értelmű ( $K_{\text{abszolút}}$ ). A megmentett ( $A_{\text{Merdő}}$ ) és az oltás során leégett erdő ( $A_{\text{Kerdő}}$ ) területe a beavatkozás hatékonyságától függően változik. A megmentett erdő értékét „ $M_{\text{erdő}}$ ”, míg az oltás ideje alatt keletkező kárértéket „ $K_{\text{oltás}}$ ” szimbólumokkal jelölöm. A gazdaságosság megállapításánál ez utóbbiakat, valamint a hagyományos eszközök, vagy repülőgépek oltási költségeit ( $\Sigma C_x$ ), valamint a hozzájuk tartozó kárértékek ( $K_x$ ) arányát kell figyelembe venni.

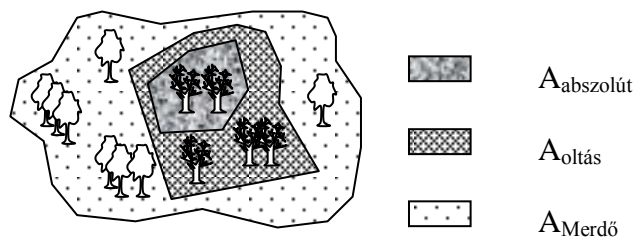


1. ábra A légi tűzoltás gazdaságossági vizsgálatának alapesetei. Forrás: Szerző.

### Hagyományos eszközökkel el nem oltható erdőtüzek

Ennél az esetnél olyan terület vizsgállok, amelyet a hagyományos földi eszközök nem, vagy csak a kárértéket meghaladó összegű logisztikai támogatással érhetnek el. Ebbe a kategóriába sorolom a nagy kiterjedésű, erősen tagolt hegyvidékeket, vagy a nagyon laza, homokos talajú területeket. Magyarországon az Alföld egyes részei tartoznak ide. A tűz itt szabadon terjed mindaddig, amíg természetes akadályba (folyó, sziklás rész, véget ér az erdő, stb.) nem ütközik, vagy az időjárás megváltozása, esőzés gátat nem szab a terjedésnek.

Ebben az esetben a formális logika diktálta szélsőértéket feltételezem, azt, hogy légi eszközök alkalmazása nélkül a teljes erdőállomány megsemmisül.



2. ábra. A megmentett erdő és a leégett terület. Forrás: szerző

A légi eszközök alkalmazásának gazdaságossági kritériuma itt csupán annyi, hogy a megmen-tett érték (az erdőállomány pénzben kifejezhető értéke:  $M_{\text{erdő}}$ ) nagyobb legyen, mint a légi eszközök bevetésével járó összes költség ( $\sum C_{RG}$ ), függetlenül az oltás ideje alatt megsemmi-sülő erdő értékétől ( $K_{\text{oltás}}$ ).

$$M_{\text{erdő}} > \sum C_{RG} \quad (1)$$

Ez az egyszerű számvetés leginkább a külföldi gyakorlatban kap értelmezést, ahol ország-résznyi összefüggő erdős területek találhatóak (pl. Egyesült Államok, Kanada, Oroszország, Ausztrália) és nincs figyelembe vehető alternatívája az egyéb oltási lehetőségeknek.

### Hagyományos eszközökkel oltható tüzek

Meghatározásánál azokat a feltételeket keresem, ahol azonos hatékonyság mellett a légi esz-közök költségei már alacsonyabbak a hagyományos eszközök költségeitől. A probléma az, hogy a repülőgépek, de még inkább a helikopterek üzemórájának költsége ( $C_{RG}$ ) köztudomá-súan nagyságrenddel nagyobbak, mint egy fecskendőé ( $C_{Fecs}$ ), vagy egy vízszállítóé ( $C_{Vizsz}$ ), de a hatékonyság tekintetében ugyanez a különbség-arány csak meghatározott körülmények között érvényesül.

A fenti körülmények meghatározására fajlagos költségeket hasonlítom össze úgy, hogy a két eszköznek az oltási hatékonysága közötti különbségét nem veszem figyelembe. A „ $C_{Fecs}$ ” fecs-kendő egy üzemórájának költségével „ $Q_{Fecs}$ ” meghatározott mennyiségű oltóanyagot lehet „ $L_{Fecs}$ ” távolságra eljuttatni. A légi tűzoltást végző „ $C_{RG}$ ” repülőgép egy üzemórájának költségé-re vonatkoztatva ez „ $Q_{RG}$ ” mennyiségű oltóanyagot jelent „ $L_{RG}$ ” távolságra történő eljuttatással. A vizsgálat során azt keresem, hogy a fajlagos költségek hol válnak azonosossá, illetve kedvezőb-bé a repülőgépek alkalmazásával. Az egyenlőtlenség felírását a következőképp adom meg:

$$\frac{C_{Fecs}}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{C_{RG}}{Q_{RG} L_{RG}} \quad (2)$$

A költségek arányának meghatározása:

$$\frac{C_{RG}}{C_{Fecs}} = k \quad (3)$$

A repülőgép költsége a (3) képlet alapján a fecskendőével kifejezve:

$$C_{RG} = k C_{Fecs} \quad (4)$$

A (2) képletbe behelyettesítve a (4) egyenlőséget:

$$\frac{C_{Fecs}}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{k C_{Fecs}}{Q_{RG} L_{RG}} \quad (5)$$

A (5) egyszerűsítésével kapott forma:

$$\frac{1}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{k}{Q_{RG} L_{RG}} \quad (6)$$

A (6) képlet értelmezése alapján a következő megállapításokat teszem: Azonos távolság esetén a (6) reláció akkor áll fenn, ha a légi jármű legalább annyi oltóanyagot szállít, mint a költségarányal szorzott fecskendő általi mennyiség:

$$L_{RG} = L_{Fecs} ; Q_{RG} \geq kQ_{Fecs} \quad (7)$$

Azonos szállított mennyiség esetén a (6) egyenlőtlenség akkor áll fenn, ha a légi jármű legalább olyan messzire képes azt szállítani, mint a költségarányal szorzott fecskendő általi távolság:

$$Q_{RG} = Q_{Fecs} ; L_{RG} \geq kL_{Fecs} \quad (8)$$

A fentieket egy példa alapján<sup>4</sup> 1:10 költségarányú esetre értelmezve: a légi jármű alkalmazása akkor lesz legalább olyan hatékony, mint a fecskendő, ha a költségarányból adódóan ugyanannyi idő alatt ugyanolyan távolságra legalább tízszer annyi vizet képes szállítani, vagy ugyanazt a vízmennyiséget tízszer olyan távolságra képes eljuttatni.

Mivel a távolság értéke a sebesség és idő szorzatából adódik, a példában pedig egységnyi idővel számoltam, így a (8) képletben a távolság a sebesség értékeivel ( $v_x$ ) helyettesíthető:

$$Q_{RG} = Q_{Fecs} ; v_{RG} \geq kv_{Fecs} \quad (9)$$

A (3) költség-arányhoz hasonlóan a szállítható oltóanyag mennyiség ( $m$ ) és szállítási távolság ( $n$ ), illetve a (9) felhasználásával a sebesség arányai ( $n$ ) is felírhatók. A (4) segítségével felírt (5) mintájára meghatározom a (2) általános alakját:

$$\frac{C_{Fecs}}{Q_{Fecs} L_{Fecs}} \geq \frac{kC_{Fecs}}{mQ_{Fecs} nL_{Fecs}} \quad (10)$$

Bármely két arányszám ismeretében a harmadik számítható, amely a légi járművek hatékonyabb alkalmazásának feltételét mutatja. Könnyen belátható, hogy olyannyira nagyok a költségek közötti különbségek, hogy a repülő eszközök pusztán ilyen értelmű gazdaságossági vizsgálat esetén hatékonyságban könnyen alul maradnak.

A költség-arányt 1:10 értéknek, a helikopter maximális sebességét külső függesztménnyel  $v_{HELmax} = 160$  km/h-nak, a szállított oltóanyag mennyiségét azonosnak feltételezve ( $Q_{MI-8T} = Q_{Fecs} = 2 \text{ m}^3$ )<sup>5</sup> a helikopter alkalmazása akkor gazdaságosabb, ha a fecskendő átlagsebessége ugyanazon a távolságon nem éri el a 16 km/h-t. Ez tartós emelkedőn (hegyvidéki erdei út), vagy homokos talajon elképzelhető, de magyarországi viszonyok esetében korlátozottan vehető figyelembe. A fecskendő helyett vízszállítót értelmezve és négyszeres vízmennyiséget számítva az arányok még inkább romlanak, hiszen a gazdaságosság határa a vízszállító 4 km/h sebességénél jelentkezik. Ilyenkor a hagyományos eszközök tartós alkalmazásának előnye taktikailag sem értelmezhető, így a gazdaságossági számítás is értelmét veszti.

A fentiek alapján megállapítom, hogy hazai viszonyok között, a repülőgépekkel a hagyományos eszközök kiváltása pusztán gazdaságossági szempontból csak erős megszorításokkal érhető el.

<sup>4</sup> Tűzoltó jármű 50 ezer Ft/óra, repülőgép 500 ezer Ft/óra költséggel számolva.

<sup>5</sup> Mi-8T esetében Bambi Bucket külső függesztmény alkalmazásával.

## A közös alkalmazás gazdaságossági feltételei - komplex összehasonlító elemzés

A gazdaságosság helyes megítéléséhez komplex összehasonlító elemzés szükséges, amelyet a következő feltételezéssel vizsgálunk: Az oltás megkezdésének pillanatáig - a szabad terjedés ideje alatt – keletkezett kár abszolút jellegű, az a tűzoltási tevékenységtől teljesen függetlenül keletkezett. Az oltás megkezdése után a tűzoltásvezető vagy csak hagyományos eszközöket alkalmaz, vagy igénybe veszi a repülőgépek segítségét is.

### A hagyományos eszközökkel való oltás gazdaságossági elemzése

Amennyiben a tűzoltásvezető a légi eszközök igénybevétele nélkül a hagyományos eszközökkel meghatározott „ $t_1$ ” idő alatt meghatározott „ $A_1$ ” terület leégése után tudta a tüzet eloltani, az összes kárérték és költség a következőkből tevődik össze:

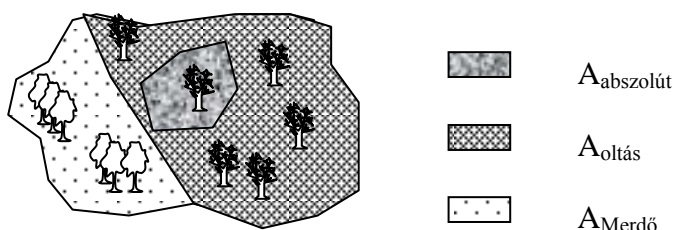
$$K_{\text{abszolút}} + K_{\text{oltás1}} + \Sigma C_{\text{HEO1}} = \Sigma K_{\Sigma 1} \quad (11)$$

- $K_{\text{abszolút}}$  - kárérték, az oltás megkezdéséig megsemmisült erdő értéke;
- $K_{\text{oltás1}}$  - kárérték, az oltás ideje alatt megsemmisült erdő értéke;
- $\Sigma C_{\text{HEO1}}$  - költség, a hagyományos eszközökkel való oltás valamennyi költsége;
- $\Sigma K_{\Sigma 1}$  - kárértékek és költségek összege az oltás során.

A megmentett érték meghatározása ebben az esetben:

$$M_{\text{erdő1}} = \Sigma M_{\text{erdő}} - (K_{\text{abszolút}} + K_{\text{oltás1}}) \quad (12)$$

- $M_{\text{erdő1}}$  - a teljes erdőterületből megmentett érték,
- $\Sigma M_{\text{erdő}}$  - a teljes erdőterület értéke.



3. ábra A megmentett erdő és a leégett terület hagyományos eszközökkel történő oltáskor. Forrás: szerző

A gazdaságosság feltételeként itt teljesülnie kell a következő egyenlőtlenségnek.

$$\Sigma C_{\text{HFO1}} < M_{\text{erdő1}} \quad (13)$$

vagyis:

$$\Sigma C_{\text{HEO1}} < \Sigma M_{\text{erdő}} - (K_{\text{abszolút}} + K_{\text{oltás1}}) \quad (14)$$

Az egyenlőtlenség fennállásáig a hagyományos eszközökkel való oltás gazdaságossági feltételei teljesülnek.

## A közös alkalmazás gazdaságossági elemzése

A tűzoltásvezető a gyakorlatban nem azonnal, de az oltás megkezdése után nem sokkal intézkedik a légi tűzoltás elrendeléséről. Ebben az esetben a „ $t_2$ ” oltási idő várhatóan csökken - ami konstans tűzterjedési sebességet feltételezve – kisebb „ $A_2$ ” leégett területet eredményez. Ebben az esetben a kárértéket és költséget a következőképpen adom meg:

$$t_2 < t_1 \text{ és } A_2 < A_1 \quad (15)$$

$$K_{\text{abszolút}} + K_{\text{oltás2}} + \Sigma C_{\text{HEO2}} + \Sigma C_{\text{RG2}} = \Sigma K_{\Sigma 2} \quad (16)$$

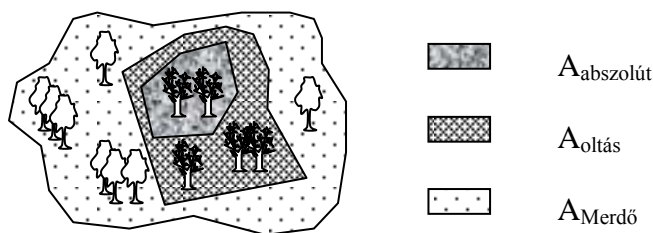
- $K_{\text{oltás2}}$  - kárérték, a leégett terület értéke közös alkalmazás esetén,
- $\Sigma C_{\text{HEO2}}$  - költség, a hagyományos eszközökkel történő oltás összes költsége közös alkalmazása esetén,
- $\Sigma C_{\text{RG2}}$  - költség, a repülőgépes oltás összes költsége közös alkalmazás esetén,
- $\Sigma K_{\Sigma 2}$  - kárértékek és költségek összege közös alkalmazás esetén.

A megmentett érték a fenti esetben kiszámítható:

$$M_{\text{erdő2}} = \Sigma M_{\text{erdő}} - (K_{\text{abszolút}} + K_{\text{oltás2}}) \quad (17)$$

- $M_{\text{erdő2}}$  - a teljes erdőterületből megmentett érték, közös alkalmazás esetén,
- $K_{\text{oltás2}}$  - kárérték, az oltás ideje alatt megsemmisült erdő értéke közös alkalmazás esetén.

A gazdaságosság feltételeként teljesülnie kell annak, hogy a hagyományos eszközök és repülőgépek közös alkalmazásának a költségei kisebbek legyenek, mint közös alkalmazás esetén a teljes erdőterületből megmentett érték.



4. ábra A leégett terület csökkenése hagyományos és repülőgépes oltás közös alkalmazása esetén  
Forrás: Szerző.

$$\Sigma C_{\text{HEO2}} + \Sigma C_{\text{RG2}} < M_{\text{erdő2}} \quad (18)$$

vagyis:

$$\Sigma C_{\text{HEO2}} + \Sigma C_{\text{RG2}} < \Sigma M_{\text{erdő}} - (K_{\text{abszolút}} + K_{\text{oltás2}}) \quad (19)$$

Az egyenlőtlenség fennállásáig a közös alkalmazással történő oltás gazdaságossági feltételei teljesülnek.

A fentiek alapján a következőket értelmezem [3]:

1) A tűz oltásának megkezdéséig keletkezett kár mindkét esetben azonos, vagyis állandó:

$$K_{abszolút} = \text{állandó} \quad (20)$$

2) Hagyományos eszközökkel történő oltás költsége, légi eszközök alkalmazásakor csökken:

$$C_{HEO2} < C_{HOE1} \quad (21)$$

3) A leégett erdő értéke is csökken, légi eszközök felhasználásakor:

$$K_{oltás2} < K_{oltás1} \quad (22)$$

A fentiekből következtetem:

1) Az leégett területek különbségéből adódó kárérték különbség ( $\Delta K_{oltás}$ ):

$$\Delta K_{oltás} = K_{oltás1} - K_{oltás2} \quad (23)$$

2) Az oltási idő csökkenéséből következik, hogy a hagyományos eszközök használati ideje is csökken, ami szintén költségcsökkenést ( $\Delta C_{HFO}$ ) eredményez:

$$\Delta C_{HEO} = C_{HEO1} - C_{HEO2} \quad (24)$$

Az összes költséget figyelembe véve a különbségek a következőképp adódnak:

$$\Delta \Sigma K_{\Sigma} = \Sigma K_{\Sigma1} - \Sigma K_{\Sigma2} \quad (25)$$

$$\Delta \Sigma K_{\Sigma} = \Delta K_{oltás} + \Delta C_{HEO} - \Sigma C_{RG} \quad (26)$$

$$\Sigma C_{RG} < \Delta K_{oltás} + \Delta C_{HEO} \quad (27)$$

A fentiek alapján bizonyítom, hogy a gazdaságosság kritériuma repülőgépes tűzoltás alkalmazása esetén akkor valósul meg, ha a légi eszközök igénybevételének összes költsége kevesebb, mint a leégett erdőterület értékének csökkenéséből és a hagyományos eszközök igénybevételi idejének csökkenéséből eredő költségmegtakarítás értéke.

$$0 < (\Delta K_{oltás} + \Delta C_{HEO}) - \Sigma C_{RG} \quad (28)$$

A gazdaságosság feltétele mindaddig érvényesül, amíg a (28) egyenlőtlenség fennáll.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Mészáros, K., Bányai, P., Horváth, B., Horváth, I., Kocsó, M., Nagy, D., Szedlák, T., Traser, Gy., Varga, Sz., Veperdi, G.: Erdőtűzek elleni integrált védekezés fejlesztése, Projekt zárójelentés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2003
- [2] Leone, V., Lovreglio R.: Human Fire Causes: A Challenge for Modeling. Előadás, EARSeL, 4<sup>th</sup> International Workshop on RS and GIS Appl. to Forest Fire Management, Ghent, Belgium, 2003
- [3] RESTÁS Ágoston: Az erdőtűzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése. Ph.D. értekezés. ZMNE 2008.

Restás Ágoston, PhD<sup>1</sup>

## A KÉNYSZERHELYZETI DÖNTÉSHOZATAL EGY MODELLJE FÖLDÖN ÉS LEVEGŐBEN<sup>2</sup>

*A döntéselmélet, mint a szervezés és vezetéstudomány részterülete csupán néhány évtizedes kutatási múltra tekint vissza. Külön tudománnyá válását a gazdasági szféra kockázatsökkentő elvárásának kényszerszerűen elősegítette. Ezért a döntéselmélet alapvetően olyan területeket vizsgált, ahol a döntéshozónak a hosszútávra kiható döntések meghozatalához nagyságrendekkel több idő áll rendelkezésére, mint a percek -, de még inkább másodpercek - alatt döntéskényszer alá kerülő légiforgalmi irányítóknak, repülőgép-, vagy helikoptervezetőknek. Természetesen a feltételrendszerek és a körülmények sem hasonlóak, így a döntési mechanizmus sem lehet azonos. A kutatások azt mutatják, hogy a kényszerű döntéseket meghozók nem a klasszikus elemző, problémamegoldó gondolkodás mechanizmusa alapján döntenek, hanem ún. felismerés alapú döntést (recognition primed decision) hoznak. Ennek a döntéshozatali mechanizmusnak a repülőgép-, és helikoptervezetőkre adaptálható eredményeire vállalkozik a cikk.*

### **A MODEL OF DECISION MAKING AT THE GROUND AND ON BOARD IN CASE OF EMERGENCY**

*The age of decision theory, as part of the organization and management science research area is only a few decades. It has become a separate discipline in the business sector to reduce the risk significantly contributed to the pressure of expectations. Therefore, decision theory is basically studied such area, where the decision-maker in the long term impact on decisions more time is available as a matter of minutes - and even more in seconds - over the decision constraints into air traffic controllers, aircraft or helicopter pilots. Of course, the terms and conditions are not the same as at similar systems, so the decision-making mechanism also can not be the same. Research has shown that the forced decisions not taken by the classic analytical, problem-solving mechanisms, but by the so-called recognition-primed decision making will be. This article shows some backgrounds of this mechanism can be adapted also to the air traffic controller, aircraft, and helicopter pilots.*

## BEVEZETÉS

A történelmi példákkal igazolható, hogy a hadvezérek sikerességének magyarázataként a nehezen megfogható vagy körülírható, de bizonyosan *speciális döntési eljárásról* a történetírók, maguk a döntéshozók, vagy a kutatók már régóta említést tesznek. A homályos megfogalmazások bizonyosan arra utalnak, hogy ennek hátterét, mechanizmusát, tiszta és világos magyarázatát sem a hadvezérek, sem a sikereiket leírók nem ismerték. Ennek ellenére azonban pontosan ezek a leírások bizonyítják azt, hogy az alkalmazott mechanizmus már ősidők óta létezik, és jól is működik.

További vizsgálatok mutatnak rá arra is, hogy a harctéri cselekmények felfüggesztése, megállítása a csata megindítása után már lehetetlen, annak irányítása, folyamatos nyomon követése már elengedhetetlenül szükséges. Ez a vezetők számára folyamatos *időnyomás alatti döntéshozatalt*, az ellenséges szándékokat is figyelembe véve *kényszerhelyzeti döntéshozatalt* jelent.

<sup>1</sup> egyetemi docens, mb. tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katasztrófavédelmi Intézet, Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék, arestas@r-fire.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Dudás Zoltán ny. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, dudasz.zoltan@uni-nke.hu



A technika fejlődésével és a közgazdasági modellek hatékonyságának velejárójaként a hidegháború időszakában a katonai tervezésnél a stratégiai feladatok mellett a taktikai feladatok szintjére is az *analitikus gondolkodás* (pl. JOPES) adaptálása zajlott.

## AZ ANALITIKUS DÖNTÉSTÁMOGATÓ MECHANIZMUSOK MŰKÖDÉSI ZÁRLATAI

A klasszikus döntéstámogató rendszerek térnyerésének hátterében az állhat, hogy a számítástechnikai lehetőségek ugrásszerű növekedésével a rendelkezésre álló információ-halmaz feldolgozása és kiértékelése időben drasztikusan lecsökkent. A számítástechnika nyújtotta lehetőségeket mind a katonai, mind a gazdasági élet szereplői kihasználták. A gazdasági életben elért sikerek, valamint a hidegháború stratégiai szinteken állandósult, arra korlátozó problémamegoldása logikusan azt eredményezte, hogy a számítógépekkel támogatott analitikus problémamegoldás az alsóbb vezetési szinteken is bevett szokássá és kiterjedt gyakorlattá vált.

A stratégiai feladatmegoldáshoz szükséges feladatok tömegét különböző, előre kidolgozott algoritmusok alkalmazásával a számítógépek rövid idő alatt elvégzik; úgymond olyannyira lerövidítik a stratégiai feladatmegoldás idejét, hogy azok a döntéstámogató rendszerek révén akár már operatív és taktikai szinten is alkalmazhatóvá válnak. A viszonylag ritkán kialakuló éles helyzetek statisztikai aránya pedig biztosította, hogy az esetleges hibás döntések száma (és vesztesége, kárértéke) még olyan elviselhető küszöb érték alatt maradjon, hogy az intézkedési kényszert a vezető döntéshozók részéről még ne jelentsen.

A klasszikus döntéshozatal mechanizmusainak teljes térnyerése igazolható az oktatási anyagok tematikájával, a magasabb szintű parancsnoki képzések kizárólagosan stratégiai szemléletével, a valamennyi döntési szinten elszaporodó döntéstámogató rendszerek alkalmazásával és a katonai doktrínákba foglalt hadműveleti tervezési szemléletével (pl. JOPES<sup>3</sup>).

Annak ellenére, hogy a katonai költségvetés nagyon sok országban a legfejlettebb számítógépes technológiák bevezetését tette korábban, és teszi lehetővé napjainkban is, azok alkalmazásával egyes esetekben mégis olyan rossz megoldások születtek, amelyek ráirányították a figyelmet az analitikus döntéshozatal korlátainak és ténylegesen működő mechanizmusainak feltárásának szükségességére. A hagyományos döntéshozatal hiányosságaira mindig valamilyen nagyon súlyos következményekkel járó esemény irányította rá a figyelmet. A *számítógépes technológiákkal segített döntéstámogatás* egyik kudarca volt a Three Mile Island-i nukleáris baleset. Az 1979. március 28-án Harrisburg, Pennsylvania, Egyesült Államok mellett történt eset elemzése során, a technikai problémákon és a képzés elégtelenségén kívül rámutattak a humán képességek korlátozottságára, különösen a számítógépeken keresztül történő műveletek lehetséges hibás kölcsönhatásaira.

A speciális döntési mechanizmus alaposabb vizsgálatának tovább nem halogatható szükségességére – kiindulási mérföldkőként – egy súlyos katonai tévedés irányította rá a figyelmet. Az Irak és Irán között zajló fegyveres konfliktus idején, 1988. június 3-án a Perzsa öbölben állomásozó *USS Vincennes* cirkáló két irányított rakétájával lelőtte az IranAir légitársaság Bandar Abbas-ból Du-

---

<sup>3</sup> JOPES - Joint Planning and Execution System; az Egyesült Államok haderejében alkalmazott döntésirányítási rendszer.

bai-ba tartó IR655-ös járatát. A repülőgépen utazó valamennyi utas, 290 fő az életét vesztette. A vizsgálatok kimutatták, hogy a katonák a cirkálón érvényben lévő, szokásos eljárási rendnek megfelelően cselekedtek, bár, de az nem felelt meg annak az elvárásnak, hogy a döntéshozók a gyorsan változó körülmények között is képesek legyenek a helyzetet pontosan felismerni és annak alapján helyesen dönteni. Az egész döntési folyamat során, a repülőgép észlelésétől az azonosításra és kapcsolatfelvételre tett kísérleten, a parancsnoknak tett jelentésen, annak visszaellenőrzésén keresztül a rakéták kilövésére adott parancsig mindösszesen 3 perc 40 másodperc telt el. A problémát döntéshozatali szempontból is elemezték és annak okát visszavezették a rohamosan fejlődő számítógépes technológia, valamint az általa nyújtott információk feldolgozhatóságának emberi korlátaira. Az előbbi dinamikus fejlődésének napjainkban is mindannyian tanúi lehetünk, míg az utóbbi ezer évek távlatában is közel statikusnak mondható.

## A KÉNYSZERHELYZETI DÖNTÉSEK KÖRNYEZETE

Az egyes kényszerhelyzeti szakterületek sajátosságait több szerző példáján keresztül is be lehet mutatni. Klein tűzoltók példájából merítve foglalkozott a katonák döntési körülményeinek elemzésével, Killion a haditengerészetből vett példákat, Bruce saját orvosi esetét mutatja be, Johansen egyszerűsíti a bonyolult körülményeket. A fenti jellemző példákból, a témával foglalkozó fenti szerzők műveiből, valamint saját repülő és tűzoltó tapasztalataimból kiindulva a hasonló helyzetekre is érvényesen megfogalmazva a következőkkel jellemezhetők a kényszerhelyzeti feladatok:

- időkényszer a feladat megkezdéséhez, vagy korlátozott idejű végrehajtási lehetőség;
- rosszul strukturált, bizonyosan információhiányos, esetleg szándékosan dezinformált feladat és környezet;
- bizonytalan, és dinamikusan vagy kiszámíthatatlanul változó környezet;
- rosszul definiált, esetleg a végrehajtás folyamatában változó célok;
- többszörös visszacsatolási körök igénye, lehetőségének teljes/részleges hiánya;
- nagy értékű tét, az anyagi (emberi) veszteségek beláthatatlan mértékű, esetleg végzetes hatása;
- magas tudásintenzitású környezet;
- nagyon összetett döntési helyzet;
- térben és időben a korábbi rend felbomlásának, káosz kialakulásának lehetősége.

A fenti tényezők többsége jelen van, esetenként mindegyike jelen lehet a kényszerhelyzeti döntések valamelyik szintjén: így a stratégiai, operatív és taktikai szinteken is, ám minden bizonyosan eltérő hangsúlyokkal. A stratégiai és operatív szinten általában nem csak több idő, de szélesebben igénybe vehető humán és technikai erőforrások is rendelkezésre állnak a felmerülő bizonytalanságok csökkentéséhez. Az befolyásoló tényezők aprólékos számbavétele helyett azok lényegi megfogalmazásával egyszerűsítő csoportosítás is alkotható.

A kényszerhelyzeti döntéshozókat vizsgálva a döntéseik markáns jellemzőiként Johansen a következőket említi:

- a helyzet gyors megváltozása, vagy illékonysága;
- bizonytalanság;

- összetettség;
- félreérthetőség.

A helyzet *illékonyágát* annak természetéből fakadó változása és a változás dinamikája együttesen határozza meg. A *bizonytalanság* az előre nem látható következményekre, a lehetséges meglepetésekre, a felmerülő kérdések és helyzetek tudatosságának hiányára utal. A kialakult helyzet *összetettségét* a rendelkezésünkre álló erőforrások dekoncentrálttsága, vagy/és sokszínűsége, a tisztázatlanul maradó, vagy felmerülő új kérdések sokasága, a korábbi rendezettség káoszunk tűnő felbomlása jellemzi. A *félreérthetőség* az átláthatatlan, ködös valóságot, a tények és körülmények helytelen értelmezésének lehetőségét, az ok-okozati összefüggések téves irányultságú megítélését jelentheti<sup>4</sup>.

A bonyolult helyzetek leírására alkotott egyszerűsített jellemzőket az Egyesült Államok hadereje a 90-es évek végén már a hivatalos terminológiájába emelte és a jellemző szavak kezdőbetűiből az operatív és taktikai feladatokat végrehajtók munkakörnyezetének leírására a VUCA<sup>5</sup> rövidítéssel alkalmazza.

A fentiek közül logikusan a leginkább korlátozó tényező *a rendelkezésre álló idő*. Ez ad szétfeszíthetetlen keretet és kényszerű sodrást, „túlnyomásos csatornát” is a döntéshozónak, amelybe belekerülve már nem lehet szabadulni. A jellemzők, problémák többsége elegendő időráfordítással akár feloldható is lenne, azaz a klasszikus döntéshozatal analitikus gondolkodásmóddal és megfelelő erőforrásokkal feloldható. Az idő sodrásában azonban a döntéshozónak erre nincs lehetősége, így ez számára alapvetően befolyásolja, egyértelműen korlátozza a feladat végrehajtásának „tervezési” folyamatát.

## A FELISMERÉS ALAPÚ DÖNTÉS ÁLTALÁNOS MODELLJE

Klein munkája alapján a felismerés alapú döntés lényege az, hogy a döntéshozó a korábbi tapasztalatai révén több, különböző megoldási sémával rendelkezik gondolataiban, amelyeket az új helyzetben emlékezetéből képes felidézni. Az első olyan sémát, amely illeszkedik az adott probléma tipikus jegyeihez, a döntéshozó azonnal alkalmazza, vagyis korábbi tapasztalatainak eredményeképpen hozza meg gyors döntéseit. Klein munkájában az adott helyzet felismerésére alapvetően két lehetőséget talál:

1. *prototípus*: amennyiben a helyzet egésze a tipikus jegyek alapján nem beazonosítható a már korábban tapasztaltakkal;
2. *analógia*: amennyiben a helyzethez emlékezetből képesek vagyunk azonos, vagy közel azonosan hasonló egészet, esetleg azonos részelemeket találni.

A többszörösen összetett veszélyhelyzetek megoldására, mint pl. a légi irányítók, repülőgép-, és helikoptervezetők feladatai, de más példát említve akár a tűzoltói beavatkozások, katasztrófák egy jelentős része is a prototípusok csoportjába tartozik.

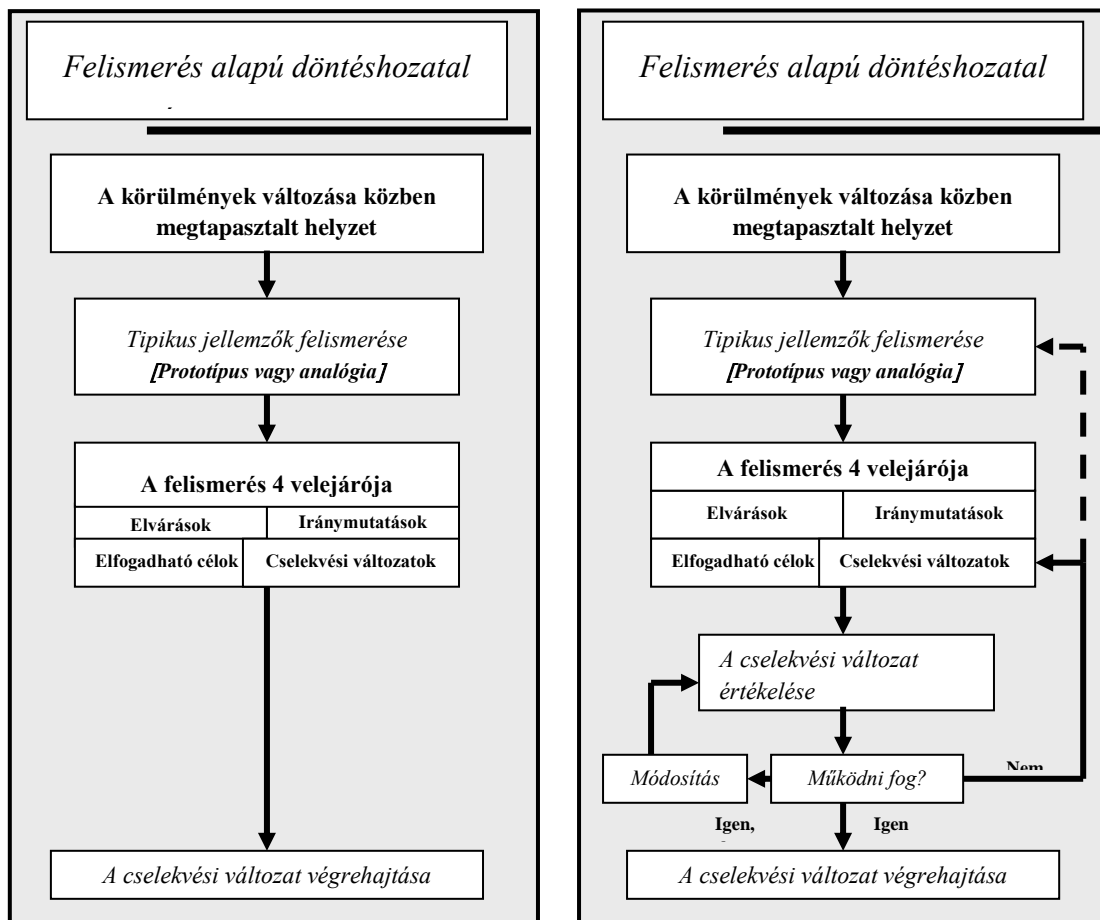
Az analógia esetében az azonos, vagy közel azonos minősítésen van a hangsúly, míg a proto-

<sup>4</sup> Wikipedia [http://en.wikipedia.org/wiki/Volatility,\\_uncertainty,\\_complexity\\_and\\_ambiguity](http://en.wikipedia.org/wiki/Volatility,_uncertainty,_complexity_and_ambiguity)

<sup>5</sup> Volatility - illékonyág; Uncertainty – bizonytalanság; Complexity – összetettség; Ambiguity - többértelműség

típus esetében a szituáció egyes elemei generálnak lehetőséget bizonyos sémák alkalmazhatóságára. Az előbbinél a cselekvési változat értékelése a felismerés után azonnal indítható, az utóbbinál a helyzetet további rövid elemzés követi. A döntéshozó ekkor igyekszik tisztázni, hogy az adott helyzetben milyen elvárások fogalmazódnak meg és milyen elfogadható célok lehetnek. Ezek mellett tekintettel kell lennie az adott helyzetben elérhető információkra és az ezekre alapozott cselekvési változatokra.

Miután a cselekvési változat akár az analógia, akár a prototípus esetén kiválasztásra került, a döntéshozó elképzei annak megvalósítását, hatását, következményeit. Amennyiben az kielégíti a döntés hatékonyságával szemben állított követelményeket, úgy annak megvalósítása megkezdődhet.



1. ábra A felismerés alapú döntés általános modellje és a lehetőségek elemzése.

Forrás: Klein(1989) és Killion (2000) munkái alapján átszerkesztve a szerző.

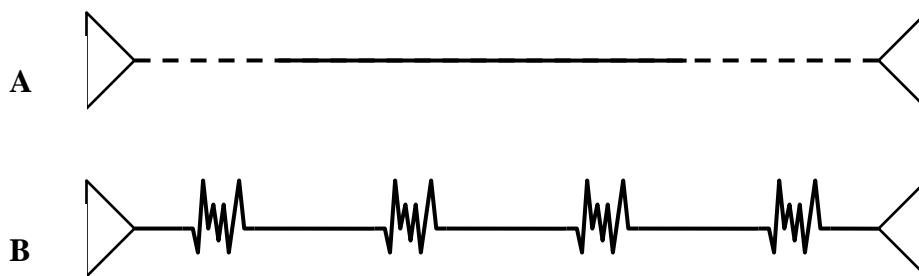
Amennyiben az első cselekvési változat eredményességével szemben problémák merülnek fel, úgy az azt képviselő séma elvetésre kerül és a hozzá legközelebbi újból megmérettetésre kerül. A folyamat mindaddig ismétlődik, ameddig a megfelelő minőségű megoldást a döntéshozó elfogadja. Ez utóbbinál is, a hagyományos döntéshozatalhoz képest sokkal rövidebb idő, legfeljebb néhány perc állhat a döntéshozó rendelkezésére; tehát nem az analogikus gondolkodás alternatívák értékelése alapján történő mérlegelés elvén alapszik.

Amennyiben a döntéshozó számára jelentősen hosszabb idő áll rendelkezésre elképzelésének értékeléséhez, úgy természetesen – a felismerés alapú döntés nyújtotta kereteken belül – lehe-

tőség van a kritikai elemzés minőségét elérő, vagy az analogikus gondolkodást jellemző alternatívák szerinti értékelés végrehajtásához is.

A felismerés alapú döntés Klein által vázolt általános modelljének grafikus ábrázolása az 1. ábrán látható. A döntéshozó az adott helyzetet felismerve emlékezetéből olyan sémát vesz elő, amely kielégíti az adott helyzetben elvárható minimális követelményeket, teljesíti az elfogadható célokat, illeszkedik az elérhető információk iránymutatásaihoz és megvalósítható cselekvési változatot kínál. Az általános modellt a cselekvési változatok értékelésével kiegészítve a lehetőségek elemzésének modelljét kapjuk. Ebben az esetben a cselekvési változat nem kellően kielégítő volta esetén vagy annak módosítása következik be, vagy új cselekvési változat értékelésére kerül sor.

A felismerés alapú döntés nem zárja ki a hagyományos döntéshozatallal történő ötvözés lehetőségét. Összetettebb feladatoknál, ahol alapvetően az analogikus gondolkodással alternatívák közül választunk, egyes részfeladatok megoldásánál a tapasztalt döntéshozók részéről önkéntelenül is alkalmazásra kerülhet a felismerés alapú döntéshozatal. Ez harmonizál azzal a megfigyeléssel is, hogy a döntéshozó addig egyszerűsíti az összetett problémákat, vagyis részproblémákat állít elő, ameddig a lebontott elemek már kezelhetővé, megoldhatóvá válnak.



2. ábra A hagyományos döntési folyamat (A) és ötvözése a felismerés alapú döntéssel (B).

*Forrás: szerző.*

A fentiekből következik, hogy a több szempontú döntéshozatal és a felismerés alapú döntéshozatal egymáshoz viszonyított helyzete nem állandó. Az analogikus gondolkodásnak a felismerés alapú döntés lehet a részfolyamata, döntési egysége is. Ebben az esetben a fő döntéshozatali mechanizmus az analogikus gondolkodás, a kiegészítő elem a felismerés alapú döntés.

Amennyiben a fő mechanizmus a felismerés alapú döntés, úgy az analogikus gondolkodás két módon is kiegészítheti azt. Egyik esetben a döntési folyamat eleje megengedő időbeli feltétellel lehetővé teszi az alternatívák értékelésével történő gondolkodást, azaz a felismerés alapú döntés egy hagyományos döntési mechanizmusból születik. A másik esetben a felismerés alapú döntés eredményét, a cselekvési változatokat értékeli hagyományos módon az analogikus gondolkodás. Ez utóbbi időszükséglete nagyságrendekkel nagyobb, mint a felismerés alapú döntés során a sémák generálta cselekvési változatok gyors tesztje, azaz mechanizmusukat tekintve nem lehetnek azonosak. Az egyik esetben a cselekvési változatok értékelése az alternatívák összevetését jelenti, a másikban a meglévő séma illesztésének elfogadását vagy elvetését.

## A KIELÉGÍTŐ ELJÁRÁS MECHANIZMUSA

A klasszikus közgazdasági döntésemélet modellje szerint a döntéshozó racionálisan viselkedik és a lehetséges változatok közül mindig az optimálist választja. A korábbiakban láthattuk, hogy a légi irányítók, repülőgép-, és helikoptervezetők - ugyan úgy, mint más döntéshozónak kényszerhelyzet esetén - a döntéshez rendelkezésre álló ideje korlátozott. Mivel ez az időkorlát eleve kizárja annak lehetőségét, hogy a klasszikus modellhez szükséges elemzéseket elvégezze, ezért a döntéshozó számára az optimális lehetőség választása objektíven nem elérhető<sup>6</sup>.

Az információszerzés nehézségeire és a hozzájuk tartozó költségek csökkentésére válaszul a döntéshozó nem törekszik az ideális eredmények elérésére, hanem a körülmények függvényében megelégszik azok kielégítő megoldásokkal is. A fenti mechanizmus azonban nem más, mint a klasszikus döntéseméleti modell ellentmondásainak feloldására a korlátozott racionalitás elvén kidolgozott adminisztratív modell, amely alapján nem csak objektíven nem lehet valamennyi körülményt figyelembe venni, de a döntéshozónak nincs is szándékában ezt megtenni.

Az analóg gondolkodástól eltérő fenti folyamatot több tényező együttesen kényszeríti ki. Ilyen tényező a legjobb megoldás kiválasztásához szükséges összes információ megszerzésének lehetetlensége, vagy az idő rövidsége. Ez utóbbi megnyilvánulása indukálja a döntéshozó kényszerét. A rendelkezésre álló információk feldolgozásának korlátozottsága szintén jelentős befolyással vehető számításba. Az információk szűrése, és ezáltal a feladatokra történő reagálás szelektálása azért is szükséges, mert a rövid távú memóriánk kapacitása meglehetősen korlátozott. Miller vizsgálatai alapján ez egyszerre csupán  $7 \pm 2$  azonos jellegű információ párhuzamos feldolgozását teszi lehetővé. Ha minden elemi döntést a vezető személy hozna meg, a döntési kapacitás egy összetett tűzoltási feladatnál azonnal kimerülne. Ez annál is inkább így van, mert egy összefüggés megvizsgálásához legalább két elem és egy művelet szükséges, ami a memória felét máris kihasználta. A kis kapacitás ellenére a tapasztalatok felhasználásával mégis legtöbbször helyes döntés születik. A vezetők a tapasztalatok felhasználásával - a korábbi megoldásoktól nem eltérő döntést igénylő helyzetekben - automatikus intézkedéseket, protokoll eljárásokat alkalmaz, így döntési kapacitását folyamatosan fenntartja. Ebben a helyzetben – saját tapasztalatomból merítve is – az irányítást végzőt nem érdekli, hogy a folyamatot milyen legjobb elemi döntések sorozatával tudja felszámolni, csak az, hogy a meghozott döntések összességükben kielégítsék a szakszerű tűzoltás feltételeit.

A legjobb elemi döntések sorozata nyilván még hatékonyabb feladat végrehajtást eredményezne. Ennek meghozatala azonban a már vázoltaknak megfelelően analogikus gondolkodást igényelne, amit a feladat tisztázására rendelkezésre álló 1-2 perc vagy a tisztázás során felmerülő váratlan helyzetek azonnali döntékényszere egyszerűen nem tesz lehetővé. Az ideális elemi döntések sorozata a feladat végrehajtását pillanatról pillanatra követné és módosítaná azonban ez saját tapasztalataimból merítve is tudatosság helyett inkább spontán történik. Ez természetesen nem szakmai hibák sorozatát jelenti; a tudatosan és spontán hozott döntések hatása közötti különbség a tapasztalatok növekedésével jelentősen közelít egymáshoz. Tehát az irányítást vég-

<sup>6</sup> Kivéve azt az egy esetet, amikor a véletlenszerű választás pontosan egybe esik az elemzés módszerével hozott döntéssel. Ennek nagyságrendjét statisztikai módszerekkel lehet meghatározni.

zö, noha képes lenne rá, nem a legjobb elemi döntések meghozatalával foglalkozik, hanem olyanokkal, amelyek a szakszerű feladat végrehajtás követelményeit összességükben kielégítik.

Ez a döntési mechanizmus azonban nem statikus és nem jelenti annak elfogadását sem, hogy a vezető részéről megengedett lenne a legegyszerűbb (primitív) válaszreakciók alkalmazása. A körülmények változásával a kielégítő döntésekkel szemben támasztott minőségi követelmények is változnak; a könnyen megtalált kielégítő változat esetén a minőségi követelmények növekednek, míg ellenkező esetben addig csökkennek, amíg ismét elfogadható egyensúly alakul ki. Ennek az egyensúlynak a kialakulása hasonlít a pszichológiában ismert aspirációs szint fogalmára.

## DÖNTÉS KIVÉTELEK ALAPJÁN

A kivételek, vagy eltérések alapján történő vezetési módszer (management by exception) kidolgozása és tudatos alkalmazása a rendszerek alapján (management by systems) és az eredménycélokkal (management by objectives) történő vezetési módszerekkel együtt a második világháború utáni évek vezetéstudományi fejlődésének az eredménye. A módszert ösidők óta alkalmazzuk, azonban tudományos igényű leírásával elsőként Dale, Drucker, Koontz, O'Donell, később Mackintosh foglalkoztak. A módszer alkalmazásának az a célja, hogy a vezetők irányítási feladatai drasztikusan csökkenthetők legyenek; lényege, hogy a döntő többségében állandó jellemzőkkel bíró termelési folyamatokba csak akkor avatkozzanak be, ha azok az előre megszabott alsó és felső értékhatárokat átlépik. A későbbiekben a módszert továbbfejlesztették (management by exception sensitive), így a folyamatok dinamikájából levezetve a szükséges beavatkozások már a határok átlépése előtt is lehetővé váltak.

A módszer alkalmazását az értekezés fókuszában álló kényszerhelyzeti beavatkozókhoz sorolt egyik csoport, a repülésirányítók szempontjából Dekker és Woods vizsgálta, feltárva annak a légi irányításban kihasználható lehetőségeit és korlátait. A kivételek alapján történő vezetés ebben az esetben egyrészt abból áll, hogy annak számos mozzanata protokollszerűen zajlik, azokat nem szükségszerű állandóan kontrollálni; másrészt, hogy a folyamatok nem minden mozzanata igényel közvetlen irányítói döntést. Mindezek egy sajátos kommunikációs közegben zajlanak, ahol vagy egyedi beszédmód – szakzsargon – alkalmazását, vagy az explicit irányítási mód hiányát tapasztaljuk.

A kivételek elvén történő vezetés módszere tapasztalataim alapján a legnagyobb segítség ahhoz, hogy az irányítást végzők döntési kapacitása folyamatosan fennmaradjon.

## ÖSSZEGZÉS

A korszerű döntéstámogató rendszerek olyan súlyos hibákat képesek okozni, amelyek rávilágítanak annak szükségességére, hogy a kényszerhelyzeti döntéshozatal esetén a tapasztalatok alapján már évezredek óta bizonyosan jól működő mechanizmusait megvizsgáljuk, alaposabban megértjük és lehetőségeit ki is használjuk. Ez egyaránt érvényes a földön és a levegőben, vonatkozhat a légi irányítókra és a repülőgép-, és helikopter vezetőkre.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Allison, G.T. (1969) Conceptual models and the Cuban missile crisis, *The American Political Science Review*, Vol. 63, pp 689-718
- [2] Barlay, S. (1990) *Légikatasztrófák*; K.u.K kiadó, Budapest ISBN 963 7846 83 2
- [3] Bazerman, M.H.: *Judgment in Managerial Decision-making*, 5th ed. (New York: John Wiley and Sons, 2002), 4.
- [4] Clausewitz, C.V., (1984) *On War*, translated and edited by Michael Howard and Peter Paret (New Jersey: Princeton University Press, 1984), 102.
- [5] Cohen, S.M., Freeman, J.T., Thompson, B.B. (1996) Integrated Critical Thinking Training and Decision Support for Tactical Anti-Air Warfare; Report, Cognitive Technologies, Inc., Naval Air Warfare Center Training System Division, Contract No. N61339-96-R-0046.
- [6] Dror, Y. (1984) Policy analysis for advising rulers, in: Tomlinson-Kiss (eds.): *Rethinking the process of operational research and system analysis*, Pergamon Press, Oxford-New York – Párizs – Sydney – Frankfurt
- [7] Dekker, S. W. A & Woods, D. D. (1999) To Intervene or Not to Intervene: The Dilemma of Management by Exception. *Cognition, Technology and Work*, 1, 86–96.
- [8] Duggan, W.: *Napoleon's Glance: The Secret of Strategy* (New York: Nation/Avalon, 2002), 17.
- [9] Gruner, W.P. (1990) No Time for Decision Making., *U.S. Naval Institute Proceedings* (1990), 39-41.
- [10] Hutchins, S.G. (1996) Principles for Intelligent Decision Aiding, Technical Report 1718, (San Diego, CA: Naval Command, Control and Ocean Surveillance Center), 14-15.
- [11] Johansen, B. (2007) *Get There Early: Sensing the Future to Compete in the Present*. San Francisco, CA: Berrett-Koehler Publishers, Inc.. pp. 51–53. ISBN 9781576754405.
- [12] Keen, P.G.W. (1977) The evolving concept of optimality, *TIMS Studies in the Management Science*, Vol. 6
- [13] Killion, T.H. (2000) Decision Making and the Levels of War; *Military Review*, United States Army Combined Arms Center, Fort Leavenworth, Kansas, 2000 november-december,
- [14] Klein, G.A. (1989): Strategies of decision making , *Military Review*, No.5.
- [15] Klein, G.A.: (1999): *Sources of Power: How People Make Decisions* Cambridge, MA: MIT Press 1999 ISBN 0262611465
- [16] Klein, G.A. (2004) *The Power of Intuition: How to Use Your Gut Feelings to Make Better Decisions at Work* Currency, 2004 ISBN 0385502893
- [17] Krulak, C.C. (1999) Cultivating Intuitive Decisionmaking *Marine Corps Gazette*, May, 1999 ISSN 0025-3170
- [18] Lindblom, C. (1959) The science of muddling through, *Public Administration Review*, Vol.19
- [19] Mackintosh, D. P. *Management by Exception; A Handbook with Forms*. Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hall. 1978.
- [20] McLean, L., Myers, M., Smillie, C., Vaillantcourt, D. (1997) *Qualitative Research Methods: An essay review*; Education Policy Analysis Archives, Arizona State University, Tempe, Egyesült Államok, Volume 5 Number 13, 1997. június 13. ISSN 1068-2341
- [21] Mezey, Gy. (2006) *Összetett veszélyhelyzeti válaszreakálás és válságkezelés döntéstámogatása a kabinet szintjén*; Szakkönyv, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, ISBN 963 7060 15 4
- [22] Mezey, Gy. (2009) *Döntés és kockázat*; Monográfia, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, ISBN 978-963-269-099-5
- [23] Miller, G.A. (1956) The Magic Number 7 Plus or Minus 2; Some Limits on our Capacity for Processing Information, *Psychology Review*, Vol. 63
- [24] Record, J. & Terrill, W.A. (2004) *Iraq and Vietnam: Differences, Similarities and Insights*; Carlisle Barracks, PA: Strategic Studies Institute, 2004
- [25] Restás, Á. (2001) A tűzoltásvezető döntéshozatali mechanizmusa; *Védelem*, VIII. Évfolyam 2. szám, Budapest, 28-30 oldal, ISSN: 1218-2958
- [26] Restás, Á. (2003) Döntéstámogatás légi eszközök alkalmazására; *Védelem*, X. Évfolyam 3. szám, Budapest, 31. oldal, ISSN: 1218-2958
- [27] Restás, Á. (2011a) The Main and Secondary Processes of Fire Managers Making Decision; Előadás, Wildfire2011 The 5th International Wildland Fire Conference, Sun City, South Africa, 9-13 May 2011.
- [28] Ribárszki, I. (1999) *Döntépszichológia*, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Jegyzet, Budapest
- [29] Roberts, N.C. és Dotterway, K.A. (1995) „The Vincennes Incident: Another Player on the Stage?” *Defense Analysis*, vol.11, No.1, pp.31-45. ISSN 1470 3602
- [30] Schmitt, J.F. (1995) How we decide; *Marine Corps Gazette*, 1995. október, pp.16-20, ISSN 0025 3170



- 
- [31] Svenson, O. & Maule, A. J. (1993) *Time Pressure and Stress in Human Judgment and Decision Making*, Plenum Press, New York, Egyesült Államok ISBN 0-306-44426-7
- [32] Taylor, D. W., (1965) *Decision Making and problem solving*, in: March J. G. (ed.): *Handbook of organisations*, Rand McNally, Chicago
- [33] Taylor, I. A. (1959): *The nature of the creative process*. In: Smith, P. (edit.): *Creativity: An Examination of the Creative Process*. New York, Hastings House
- [34] Wolgast, A. K. (2005) *Command Decision Making: Experience Counts*; USAWC Research project, US Army War Collage, Carlisle Barracs, Carlisle, PA, 17013-5050
- [35] Woodworth, R. S. & Schlosberg, H. (1966) *Kísérleti pszichológia*. Akadémiai kiadó, Budapest. 1966. ISBN 963 0540 290
- [36] Zoltayné Paprika, Z. (2002) *Döntéelmélet*; Alinea Kiadó, Budapest ISBN 9638630612

Beneda Károly Tamás<sup>1</sup>

## CENTRIFUGÁLKOMPRESSZOR FALI MEGCSAPOLÁS VIZSGÁLATA NUMERIKUS ÁRAMLÁSTANI MÓDSZEREKKEL<sup>2</sup>

*Centrifugálkompresszorokat széles körben alkalmaznak az iparban és a repülésben különféle munkaközegek sűrítésére. Bármilyen alkalmazásról is legyen szó, az alacsony szállítással járó instabilitások minden esetben kerülendők. Kiemelkedő figyelmet kell, kapjon azonban közülük a pompázs, mely nagy amplitúdójú nyomás- és tömegáram lengéseivel mechanikai károsodásokat, anyagfáradást okoz, gázturbinás hajtóművekben az égésfolyamat megszakadásához vezet. A centrifugálkompresszor járókerék belépőél fali megcsapolása passzív pompásgátló eszközként mind a repülésben, mind pedig dugattyús motorok turbófeltöltőiben gyakorta alkalmazott megoldás. A szerző kutatásai során a rendszer optimalizálása céljából először elméleti, majd kísérleti úton vizsgálta a módszer aktív kivitelének lehetőségeit. Az előző egy egydimenziós matematikai modell megalkotását takarja. A kísérletekhez pedig a BME Repülőgépek és Hajók Tanszék laboratóriumában megvalósításra került egy előzetes konstrukció, mellyel működés közben vizsgálható a statikus karakterisztika. Az átalakított berendezés kedvezőtlen geometriai korlátai miatt azonban a számított és mért eredmények messze esnek egymástól. Ez a matematikai modell pontatlanságaira utal, leginkább a rendszer geometriai kialakítását illetően. Ennek tisztázása érdekében egyrészt kiterjedt mérések elvégzése a cél, másrészt pedig, ami jelen cikknek is célja, hogy a problémát – természetesen támaszkodva a már elért valós mért eredményekre – numerikus áramlástani módszerekkel is részleteiben megvizsgálva, választ adjon az eltérések okára, illetve megoldással szolgáljon a matematikai modell finomítása érdekében.*

### **INVESTIGATION OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR INDUCER SHROUD BLEED WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

*Centrifugal compressors are widely used throughout the industry and aviation in order to compress various working media. Whichever application is used however, the instabilities arising in the low mass flow rate ranges have always to be avoided. Surge, which manifests in high amplitude pressure and mass flow oscillations, should be highlighted due to its capability of generating fatigue loads on system components and it also can lead to engine flameout in gas turbines. The inducer shroud bleed has been used widely as a passive surge suppression method in aviation and piston engine turbochargers. The author has established a simplified one dimensional mathematical model to describe the operation of a controllable variable inducer shroud bleed and in turn practical investigations were begun, which consists of modified compressor housing with controllable bleed orifices. The adverse geometry of the given compressor results in significant difference in predicted and measured values, which shows the uncertainty of the mathematical model, mostly in handling geometry. Thus there is a need to conduct more intensive measurements and, what is the goal of this paper, to investigate the problem in details using up-to-date computational fluid dynamics software, which have the role to clarify the reasons of the experienced differences and give a solution to refine the original mathematical model.*

<sup>1</sup> egyetemi tanársegéd, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, beneda@rht.bme.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu

### A centrifugális kompresszorok működése

Centrifugális kompresszorokat elterjedten alkalmaznak az iparban és a repülésben, ahol kis vagy mérsékelt tömegáramot kell kezelni és nagy nyomásviszony elérése a cél. Az áramlástan gépek működését az Euler-féle turbina egyenlet írja le, melynek munkagépekre érvényes alakja a következő:

$$\vec{M} = \dot{m} \cdot (r_2 \cdot c_{2u} - r_1 \cdot c_{1u}) \quad (1)$$

ahol

- $\vec{M}$  a nyomaték vektora
- $\dot{m}$  tömegáram
- $r_2$  kilépő sugár
- $c_{2u}$  a kilépő abszolút sebesség tangenciális vetülete
- $r_1$  belépő sugár
- $c_{1u}$  a belépő abszolút sebesség tangenciális vetülete

A közeg irányeltérítéséből adódó nyomaték az irányeltérítést végző gép szögsebességével beszorozva adja azt a teljesítményt, amely ennek a folyamatnak a fenntartásához szükséges:

$$P = \vec{M} \cdot \vec{\omega} = \dot{m} \cdot (r_2 \cdot c_{2u} - r_1 \cdot c_{1u}) \cdot \omega = \dot{m} \cdot (u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}) \quad (2)$$

ahol

- $P$  a sűrítésre fordított teljesítmény
- $\vec{\omega}$  a szögsebesség vektora
- $u_2$  a kilépő kerületi sebesség
- $u_1$  a belépő kerületi sebesség



1. ábra A Ganz kompresszor járókereke és radiális diffúzora eltávolított csigaházzal

A közeg sűrítésére fordított teljesítmény tehát függ a munkaközeg tömegáramától, valamint a kerületi sebesség és abszolút sebesség tangenciális vetületének szorzatától. Míg az axiális kompresszorok esetében a be- és kilépő kerületi sebességek közötti különbség nem számottevő, addig ez a különbség centrifugális kompresszorok tekintetében igen jelentős. Ezért az egy fokozattal elérhető nyomásviszony szubszonikus áramlási viszonyok mellett

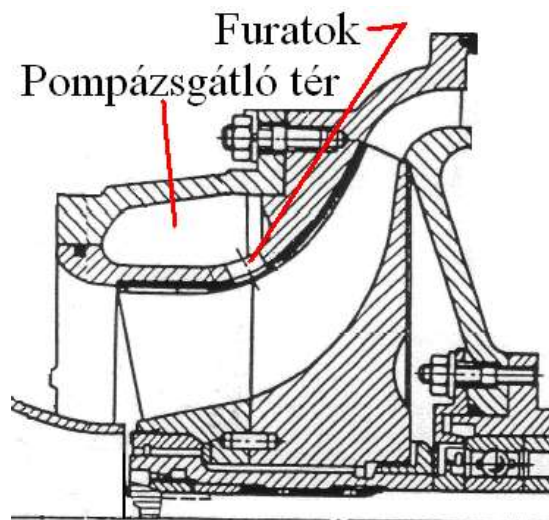
$\pi_{fok,ax}^* \approx 1,2 \div 1,3$ , illetve  $\pi_{fok,cf}^* \approx 3 \div 5$  közé tehető. Amennyiben a lapátózás kialakítása lehetővé teszi szuperszonikus áramlás létrejöttét is, ezek az értékek mindkét kialakítás esetén növekszenek.

## A VÁLTOZTATHATÓ BELÉPŐÉL FALI MEGCSAPOLÁS

### Kialakítás

A belépőél fali megcsapolás koncepciója nem új keletű, azonban a széles körben elterjedt megvalósítások kizárólag passzív megoldásként alkalmazták. Erre számtalan példát találhatunk a dugattyús motorok turbófeltöltőinél ([6]) illetve a repülésben, pl. TSz-21 ([1], lásd 2. ábra).

Az előbbiek elsősorban a környezetbe juttatják vissza a felesleges levegőmennyiséget, míg az utóbbiak általában zárt pompázsgátló térrel rendelkeznek, mely egy viszonylag rövid tranziens folyamat megfelelő kezelésére nyújt lehetőséget, de a hosszú távú üzemelésben mindenképpen kerülendőek az instabilitást előidézni képes alacsony szállítások a tároló térfogat véges nagysága okán.



2. ábra A TSz-21 pompázsgátló tere ([1] nyomán)

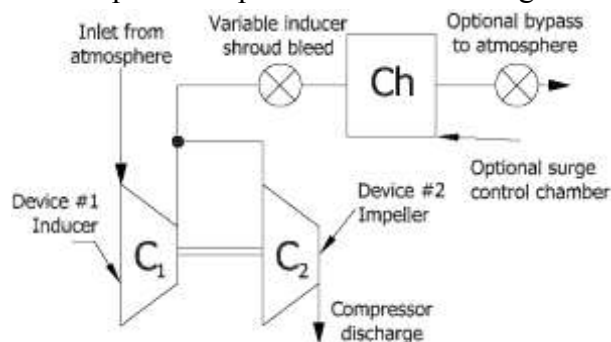
A BME Repülőgépek és Hajók Tanszéken meglévő, szabályozható fordulatszámú, háromfázisú elektromos meghajtású centrifugálkompresszorának házában tizenkét, az atmoszférával közvetlen kapcsolatban álló pompázsgátló furat került kialakításra. A kompresszor járókerékét és a módosított, furatokkal és az azok zárószervezetével ellátott házat mutatja a 3. ábra.



3. ábra A Ganz kompresszor házán kialakított pompázsgátló rendszer

### Matematikai modell

A szerző által létrehozott matematikai modell (SCM<sup>3</sup>, lásd [3]) a centrifugális kompresszorok hagyományos egydimenziós számításán alapul, azonban a belépőél (angol szakirodalomban „inducer”) és a radiális csatornarész (angolul „impeller”) két különálló logikai egységként kerül számításra, közöttük pedig a megmaradási egyenletek teremtik meg az összhangot. A két eszköz osztása célszerűen abban a keresztmetszetben történik, ahol a pompázsgátlás céljából a levegő kieresztése történik. A felbontást a 4. ábra mutatja. A modell nagy előnye, hogy maximális rugalmasságot biztosít a különböző pompázsgátló rendszerek vizsgálatára. A választható pompázsgátló tér esetében, ha végtelen térfogatot adunk meg, a számítások eredményei az atmoszférikus kapcsolatra jellemzőek lesznek, míg a zárt tér szimulációja a környezetbe visszaeresztő szelep zárt állapotával valósulhat meg.

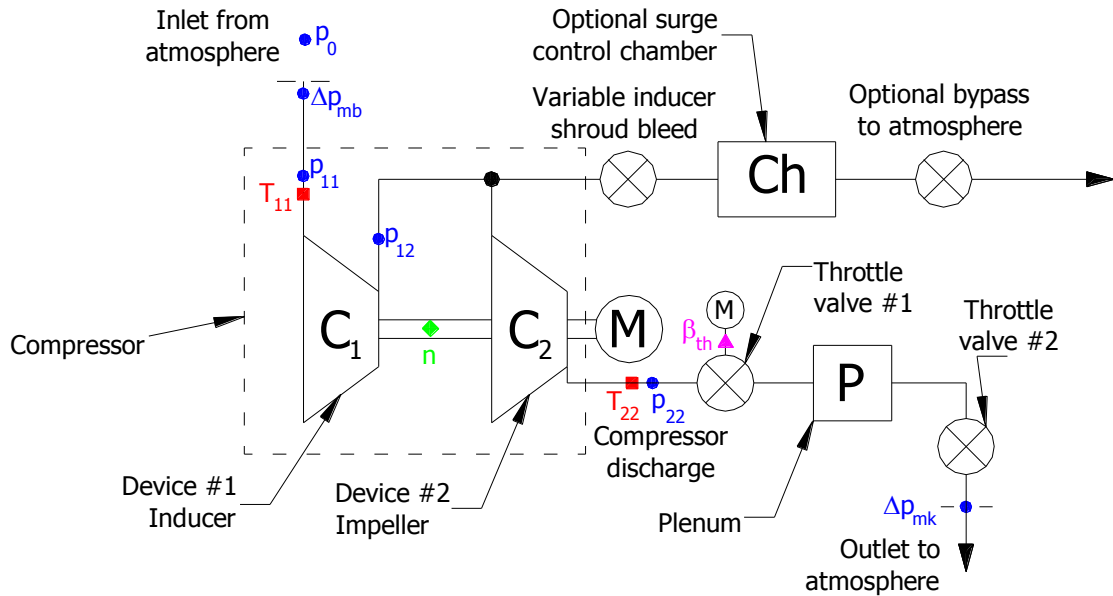


4. ábra A szétválasztott kompresszor modell ([3] nyomán)

### Mérési eredmények

A mérések a BME Repülőgépek és Hajók Tanszék kompresszor próbapadján kerültek kivitelezésre, mely szabályozható fordulatszámmal rendelkezik, és részletes leírása megtalálható a [1]-ben. A mért mennyiségek jellege és rendszerbeli elhelyezkedése figyelhető meg alább (5. ábra).

<sup>3</sup> SCM: Split Compression Model – szétválasztott kompresszió modell



5. ábra A mérési pontok ([2] nyomán)

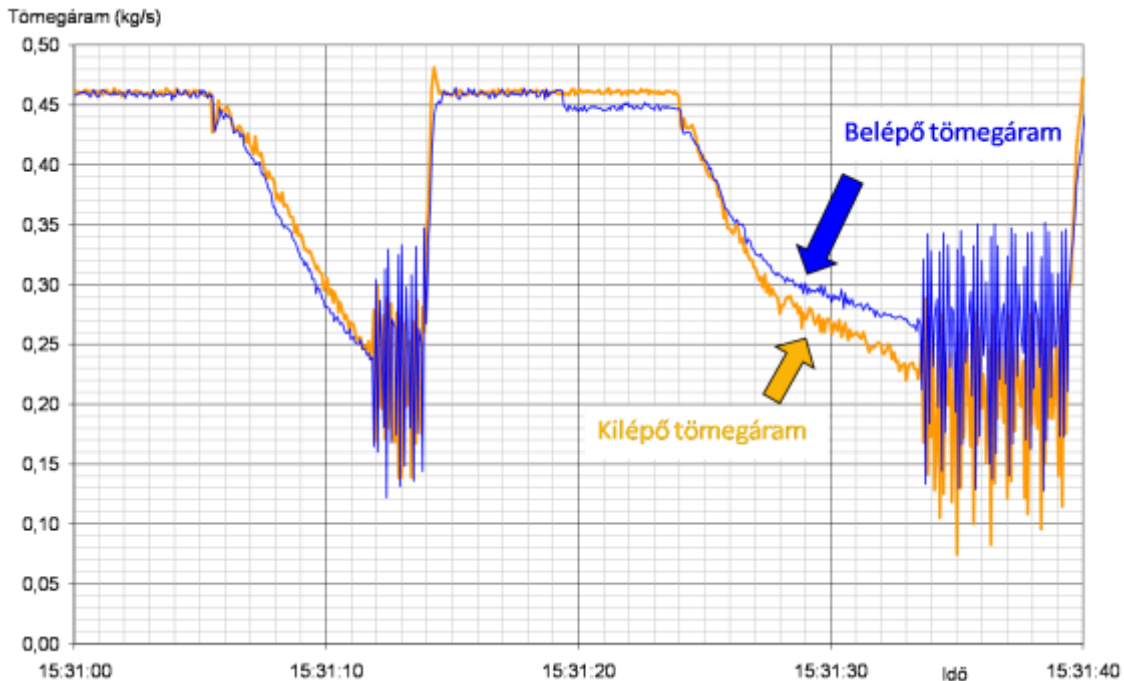
Az elvégzett kísérletek eredetileg a kompresszor teljes fordulatszám-tartományában több, a pompázsgátlás teljes zárását és nyitását is magába foglaló méréssorozatot tartalmaztak volna. Azonban az egészet megelőző kalibráló mérés során fény derült arra, hogy a létrehozott kiáramló keresztmetszet nem hoz létre akkora különbséget a szállított tömegáramban, mint amennyit eredetileg a matematikai modell alapján várható volt.

A mérés során a kilépő fojtószeleppel a pompázsgátló furatok minimális illetve maximális nyitottsága mellett sikerült ugyan eltérést detektálni a pompázs kialakulásában, mely a várakozásoknak megfelelően kisebb szállításnál jött létre, azonban az előrejelzett közel 16%-os csökkenéshez képest (lásd [1]) mindössze feleannyi, nagyjából 8%-kal mérséklődött az érték. A számítást a mérési eredményekkel a (3) egyenlet tartalmazza. A mérési eredményeket tartalmazó diagramot a 6. ábra tartalmazza.

$$\delta \dot{m}_{PH} = \frac{\dot{m}_{PH\_VISB} - \dot{m}_{PH\_norm}}{\dot{m}_{PH\_norm}} = \frac{0.23 \text{ kg/s} - 0.25 \text{ kg/s}}{0.25 \text{ kg/s}} = -0.08 \quad (3)$$

ahol

- $\delta \dot{m}_{PH}$  a pompázshatárhoz tartozó tömegáram relatív megváltozása az eredetihez képest
- $\dot{m}_{PH\_norm}$  az eredeti pompázshatárhoz tartozó tömegáram
- $\dot{m}_{PH\_VISB}$  a fali megcsapolással megvalósuló pompázshatárhoz tartozó tömegáram



6. ábra Kompresszor pompázs a furatok zárt (balra) illetve nyitott állásánál (jobbra) ([2] nyomán)

Az eltérés háttérében minden bizonnyal az a kedvezőtlen geometria áll, mely a megvalósított pompázgátló furatokat jellemzi. A kompresszor csigaháza miatt ugyanis nem lehetett merőlegeshez közeli, hanem a radiálissal 60, a forgástengellyel 30 fokkal bezárt tengellyel lehetett csak furatokat létrehozni. Ezek azonban az áramlási irányhoz képest jelentős irányeltérítést igényelnek, amennyiben rajtuk kiáramlás veszi kezdetét. Ez a probléma a megvalósított furatok mélyreható vizsgálatát teszi szükségessé, mely numerikus áramlástan segítségével lehetséges.

## A PROBLÉMA NUMERIKUS ÁRAMLÁSTANI VIZSGÁLATA

### Bevezetés

A numerikus áramlástan feladata különböző közegek áramlásának fizikai-matematikai modellezése számítógépek segítségével, ahol az adott vizsgálat a valóságban nem, vagy valamilyen ok miatt nehezen volna elvégezhető. Természetesen az eredményeket minden esetben össze kell vetni valós adatokkal, hogy meggyőződhessünk a számítások helyes kimenetével.

Az áramlások numerikus vizsgálata esetén mind a sűrűség áramlások leírására szolgáló egyenleteket, mind pedig az áramlási teret diszkrét, véges kiterjedésű térfogatokra osztjuk. Ez azt jelenti, hogy a differenciálegyenleteket alkotó elemi változásokat véges, de természetesen kellően kicsiny különbségekre konvertálva, az így kapott differenciaegyenletet az áramlási tér kiválasztott pontjaiban oldjuk meg. Mivel az így nyerhető eredmény csak kellőképpen nagy számú elem esetében közelít a valósághoz, kézi megoldásról nem jöhet szóba. A nagy

teljesítményű személyi számítógépek elterjedésével azonban a CFD<sup>4</sup> programok is hozzáférhetővé váltak a kisebb szervezetek, pl. egyetemek, kisebb tervező cégek számára.

A BME Repülőgépek és Hajók Tanszékén rendelkezésre áll az ANSYS multifizikai szoftvercsomag, melynek numerikus áramlástani felülete kiválóan alkalmazható az áramlástechnikai gépekben lejátszódó folyamatok szimulációjára.

## A CFD-ben alkalmazott egyenletrendszer

Az áramlások matematikai modellezése különböző megmaradási egyenletek segítségével történik, melyeket nemlineáris differenciálegyenlet-rendszerként írhatunk fel. Ez, kivéve a legegyszerűbb eseteket (pl. állandósult áramlás egyenes csővezetékben) nem oldható meg egyszerűen, ezért számítógépes támogatásra mindenképpen szükség van, amivel a nagy mennyiségű számítási művelet viszonylag rövid idő alatt elvégezhető ([5]).

A megmaradási egyenletek között megtaláljuk a tömeg-, energia- és impulzus megmaradás jól ismert törvényeit. Ezeket általában konzervatív formában szokás megjeleníteni. Így tehát a tömegmegmaradás törvénye:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{c}) = 0 \quad (4)$$

ahol

- $\rho$  a közeg sűrűsége
- $t$  az idő
- $\vec{c}$  a sebességvektor

Az impulzus megmaradásának leírása a Navier-Stokes egyenlet segítségével történik, mely az ideális áramlások esetén az Euler-egyenlettel helyettesíthető. Ez a tér három, egymásra páronként merőleges irányára a következő alakot ölti:

$$\frac{\partial(\rho \cdot u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot u \cdot \vec{c}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho \cdot f_x \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot v \cdot \vec{c}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho \cdot f_y \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho \cdot w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot w \cdot \vec{c}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho \cdot f_z \quad (7)$$

ahol

- $x, y, z$  a tér három, egymásra páronként merőleges iránya
- $u, v, w$  az áramlás sebességének a tér  $x, y, z$  vetületei
- $p$  a közeg nyomása
- $\tau$  csúsztatófeszültség
- $f$  térfogategységre vonatkoztatott erőhatás

Az energiaegyenlet az utolsó, mely segítségével egy áramlástani folyamat leírása teljessé tehető. Ennek formája a következő:

<sup>4</sup> CFD: Computational Fluid Dynamics, numerikus áramlástan



$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial \left[ \rho \cdot \left( e + \frac{\bar{c}^2}{2} \right) \right]}{\partial t} + \nabla \cdot \left[ \rho \cdot \left( e + \frac{\bar{c}^2}{2} \right) \cdot \bar{c} \right] = \rho \cdot \dot{q} + \frac{\partial \left( k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( k \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left( k \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right)}{\partial z} - \\
 & - \left[ \frac{\partial(u \cdot p)}{\partial x} + \frac{\partial(v \cdot p)}{\partial y} + \frac{\partial(w \cdot p)}{\partial z} \right] + \left[ \frac{\partial(u \cdot \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u \cdot \tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u \cdot \tau_{zx})}{\partial z} \right] + \\
 & + \left[ \frac{\partial(v \cdot \tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v \cdot \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v \cdot \tau_{zy})}{\partial z} \right] + \left[ \frac{\partial(w \cdot \tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w \cdot \tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w \cdot \tau_{zz})}{\partial z} \right] + \rho \cdot \vec{f} \cdot \bar{c}
 \end{aligned} \tag{8}$$

ahol

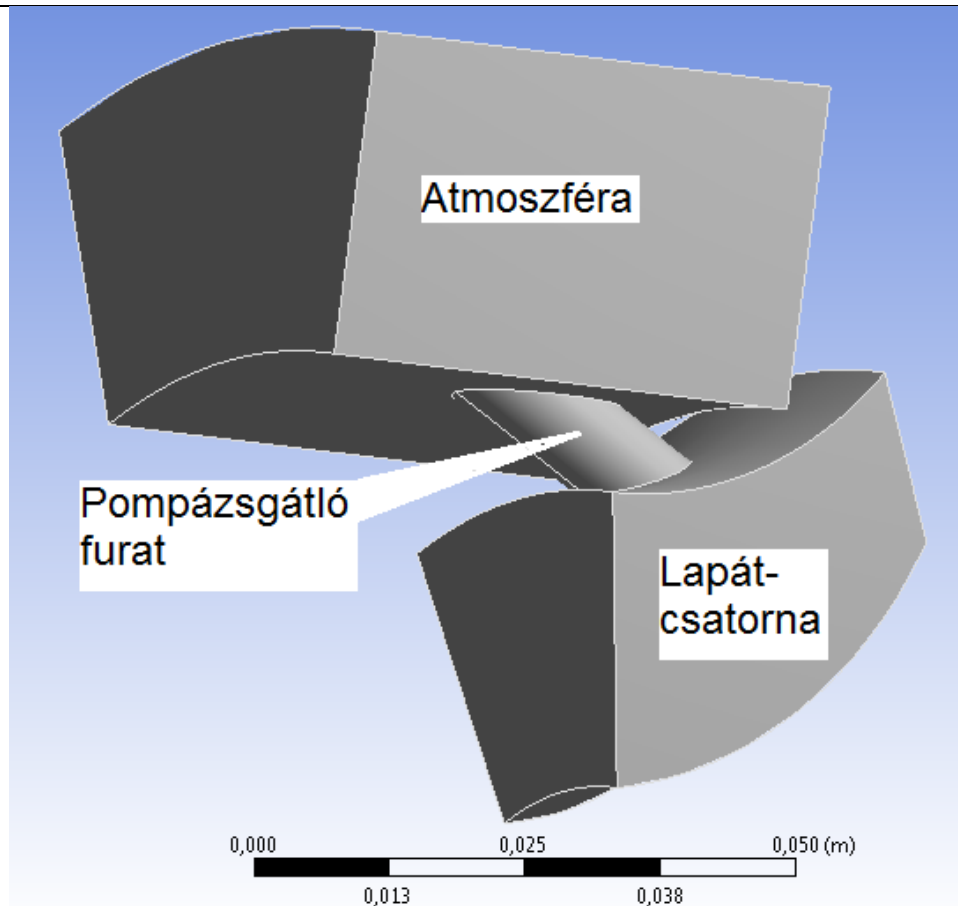
- $e$  a közeg fajlagos statikus entalpiája
- $\dot{q}$  az időegység alatt a rendszernek átadott fajlagos hőmennyiség
- $T$  az abszolút hőmérséklet
- $k$  a hőátadási tényező

### Vizsgálatok egyszerűsített modell segítségével

Az első vizsgálatot egy jelentősen egyszerűsített modell segítségével hajtottam végre. A szimuláció gyors megvalósíthatóságának érdekében egy olyan kiragadott részét hoztam létre a teljes kompresszor áramlási térnek, melynek szűkebb értelemben véve az eredményei bemutathatók, miként alakulnak a pompázsgátló furatokban a kedvezőtlen geometria okán létrejövő leválások, és mekkora keresztmetszet-csökkenéshez vezet jelenlétük.

#### *A vizsgálatokhoz használt áramlási tér*

Fentebb említésre került az elv, amelyet a geometria létrehozásánál szem előtt tartottam. Ennek megfelelően az egyszerűsített modell a járókerék két szomszédos lapátja közötti csatorna egy részét tartalmazza, a pompázsgátló furatok előtti és utáni szakaszon, valamint a fölötte elhelyezkedő furatot egy kis szelettel az atmoszférából, melyben a furaton keresztül távozó közeg áramlási viszonyai figyelhetőek meg. A modellt a 7. ábra mutatja.



7. ábra Az egyszerűsített modell

### ***Az áramlási tér diszkretizálása***

A probléma megoldásának következő állomása a megalkotott geometria hálózása, melynek során a program a beállított paramétereknek megfelelően meghatározza azokat a pontokat, melyekben a megoldás során az állapotjelzőket meg kell határozni.

A hálózás tekintetében legfontosabb jellemző, hogy milyen típusú hálót kell generáljon a program. A háló lehet strukturált, nem strukturált, illetve ezek kombinációjaként hibrid.

#### **Strukturált háló**

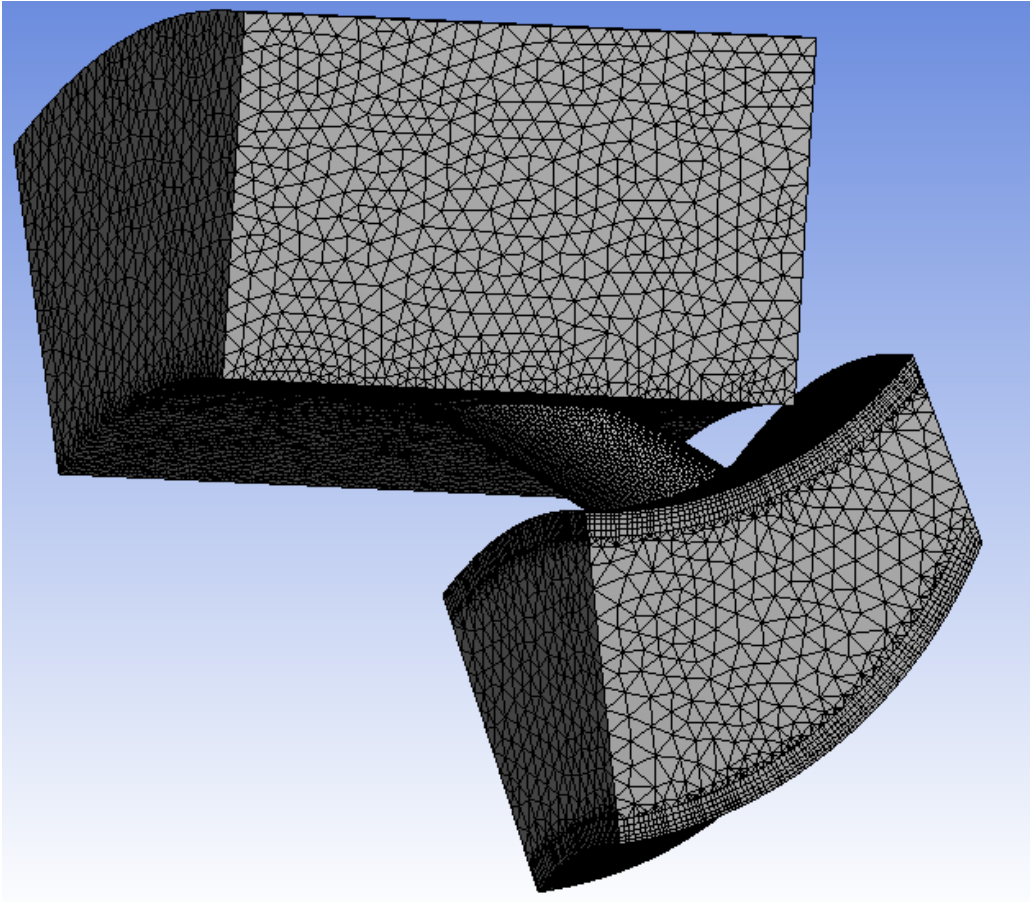
A strukturált háló esetében az elemek valamely szabály szerint kapcsolódnak egymáshoz, ezzel jelentősen csökkenthető a feladat megvalósításához szükséges memória. A legnagyobb probléma a strukturált hálóval, hogy elemei kizárólag hexaéderek lehetnek, ezzel viszont nem minden geometria hálózható be a követelményeknek megfelelően.

#### **Nem strukturált háló**

Az előzővel ellentétben nem strukturált háló esetén minden egyes szomszédos elem kapcsolódásáról információval kell rendelkezni, ez nagy memóriát igényel. Cserébe viszont bármilyen elem geometria használható, ami a háló nagyfokú rugalmasságához vezet, azaz szinte bármilyen test hálózása lehetségessé válik.

A hálózáshoz nem strukturált tetraéderez hálót választottam, mellyel lehetőség nyílt a határrétegek szükséges hálósűrítésére, valamint a nagyobb térrészek kevésbé finom hálóval

való ellátására. Az elemszám a kis geometria miatt mindössze 135000 körüli értékre adódott, miközben a határrétegekben maximum 0,5mm-es hálóelemek találhatóak. Az elkészült hálót a mutatja.



8. ábra: Az egyszerűsített modell hálózása

### *A peremfeltételek*

Ez a lépés éppen olyan fontos, mint az előzőek, hiszen egy nem kellően átgondolt peremfeltétel az egész számítást könnyen értékelhetetlenné teszi. Éppen emiatt különösen fontos, hogy a számítógépes szimuláció eredményeit a valósággal egybevegyük, azaz validáljuk, és csak akkor fogadjuk el, mint reális eredményt, ha kellő egyezés figyelhető meg az összeillő adatok között.

A peremfeltételek alapértelmezett típusa az ANSYS CFX-ben a fal, vagyis az áramlási teret határoló szilárd határfelület, melyen keresztül anyagáramlás nem jöhet létre, illetve közvetlen közelében a sebességvektor kizárólag a felületi normálisra merőleges, azaz a felülettel párhuzamos lehet.

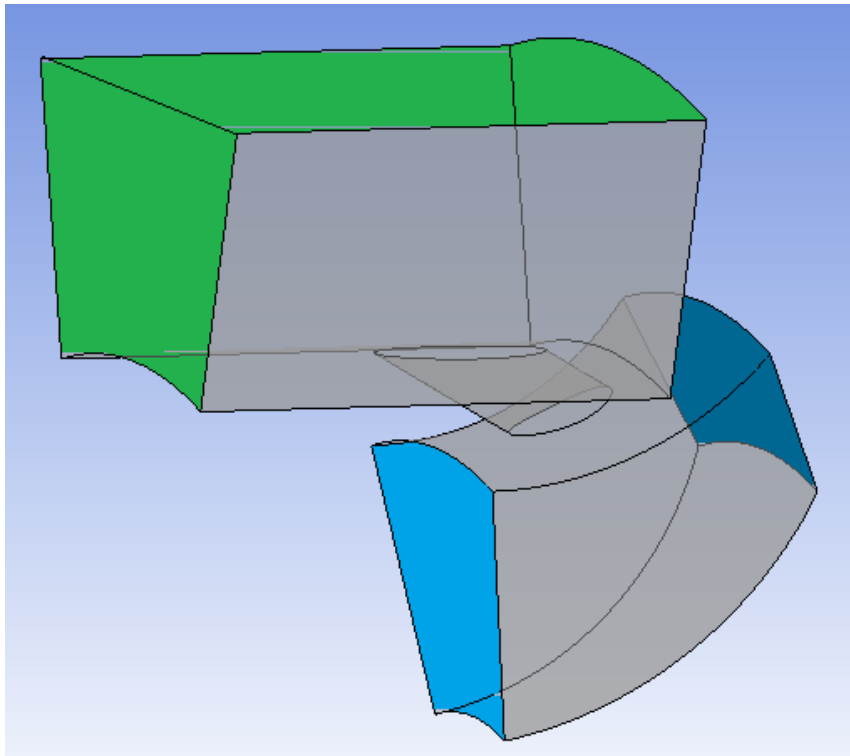
Amelyik felületen keresztül anyagáramlás valósul meg, annak ettől eltérő feltételt kell meghatározni. Ezek a következők lehetnek:

1. Belépés az áramlási térbe (Inlet)
2. Kilépés az áramlási térből (Outlet)
3. Nyílás, melyen bármilyen irányú áramlás létrejöhet (Opening)
4. Szimmetria (Symmetry)

A teljes geometria egyetlen álló tartományból áll, ugyanis ezen vizsgálat során olyan peremfeltételeket adtam meg, melyek a lapátcsatornában olyan jellegű áramlást hoznak létre, amely a mérésekkel alátámasztható. Ennek nyomán, elhanyagolva a lapátcsatorna forgó mozgását, a relatív áramlás viszonyaira koncentráltam. A lefolytatott mérések eredményei szerint a pompázs közeli tömegáramoknál a furatok keresztmetszetében a lapátvégeknél uralkodó statikus nyomás atmoszféricusnál nagyobb (míg normál szállítási körülmények között kisebb a fali statikus nyomás). Ennek köszönhetően a furatokon keresztül kiáramlás jön létre.

A peremfeltételek a lapátcsatorna áramlás iránya szerinti belépő keresztmetszetére statikus nyomást, kilépésénél tömegáramot, a pompázsgátló furatot övező atmoszféra térrész megfelelő oldalain pedig ki- és beáramlást egyaránt megengedő nyílást (opening) határoztam meg, az atmoszféricushoz képesti zérus statikus nyomáskülönbséggel. Mivel a modell a teljes járókerék tizenketted része, így a teljes tömegáramhoz képest a kilépő tömegáram is ilyen arányossággal került megállapításra.

A peremfeltételeket a 9. ábra mutatja be, ahol a belépés világoskékkel, a kilépés sötétkékkel, az atmoszféricus kapcsolat pedig zölddel került megjelölésre.



9. ábra: A peremfeltételek

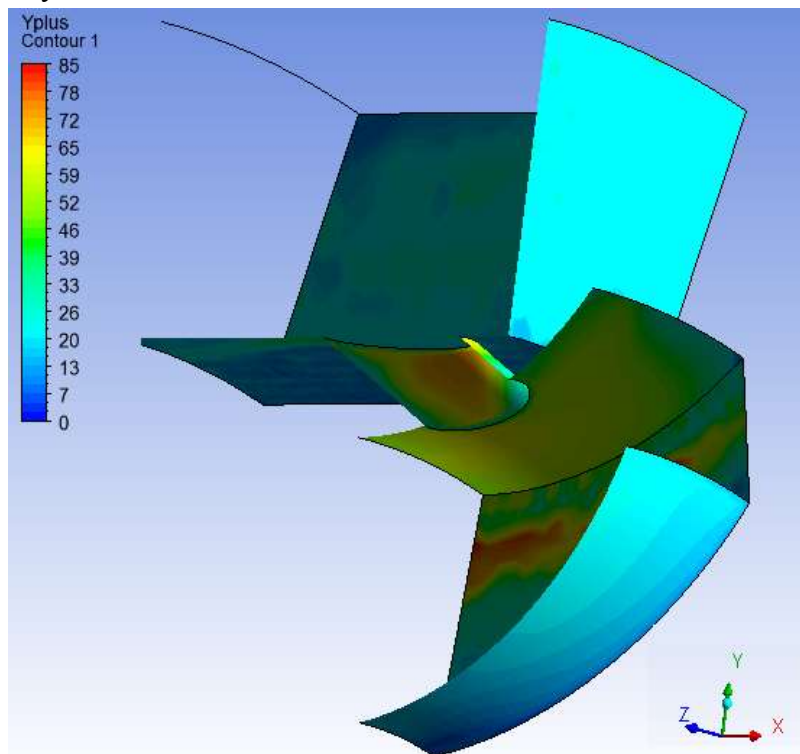
### A futtatás

A tényleges CFD szimuláció tulajdonképpen itt kezdődött, és az emberi beavatkozás a végeredmények értékelése előtt egyúttal véget ért. Miután a szoftver a beállítások szerint megoldotta az egyenletrendszert, következhet a kiértékelés. Ennek azonban nagyon fontos része, hogy meggyőződjünk arról, hogy a kapott megoldás vajon mennyiben tekinthető reálisnak. Ez két lépcsőből álló folyamat, elsőként – még a tényleges áramlási viszonyok valóságoshoz történő hasonlítását megelőzően – szükséges az  $y^+$  értékének, vagyis a dimenziótlan faltávolságnak az ellenőrzése. Amennyiben ez túl nagy értékeket képvisel, az a

megoldás pontatlanságát, a határreteg túlzott vastagságát jelenti, vagyis a szoftver által számolt értékek nem tekinthetők megoldásnak, és más beállításokkal a szimuláció megismétlendő. A konkrét kritérium a gyakorlatban:

$$y^+ < 300 \quad (9)$$

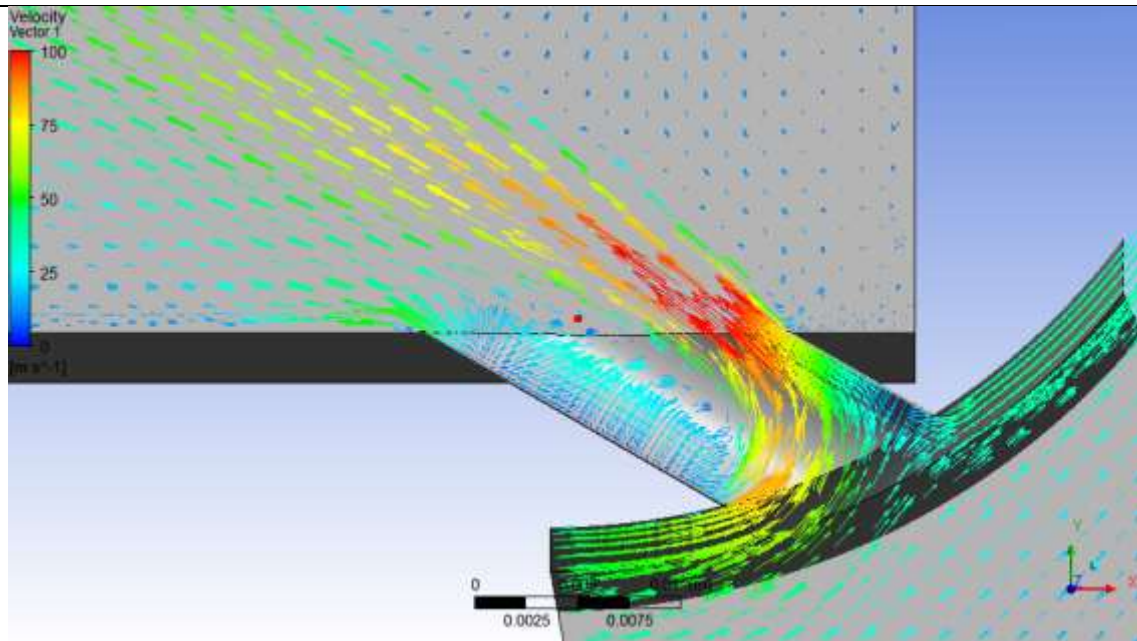
A jelen futtatás során az alapértelmezettként fálnak beállított felületekre kellett megjeleníteni az értékeket, melyet a 10. ábra mutat. Megállapítható, hogy a (9) egyenletnek megfelelő értékeket eredményezett a számítás.



10. ábra Az  $y^+$  dimenziótlan faltávolság értékei az egyszerűsített modell metszetén

### Az eredmények

Az eredmények tekintetében a sebességeloszlást érdemes megvizsgálni, mely tökéletesen mutatja a pompázsgátló furatban kialakuló leválás elhelyezkedését és térbeli kiterjedését, valamint hatását a körülötte zajló kiáramlásra. Ezt illusztrálja a 11. ábra.



11. ábra: Sebességeloszlás a szimmetriasíkban

Másik oldalról az ANSYS által biztosított Function Calculator lehetőséggel kiszámítható pl. a pompázsgátló furaton keresztül távozó tömegáram, melyet a furatok számával (12) beszorozva megkapjuk a teljes rendszeren a szimulált körülmények között távozó mennyiséget (10. egyenlet).

**Function Calculator**

Function: massFlow

Location: Kilep

Case: ISB1\_002

Variable: Velocity

Direction: Global X

Fluid: All Fluids

---

**Results**

**Mass Flow on ISB\_atm**  
-0.00355293 [kg s<sup>-1</sup>]

**Mass Flow on Belep**  
0.0235552 [kg s<sup>-1</sup>]

**Mass Flow on Kilep**  
-0.02 [kg s<sup>-1</sup>]

Clear previous results on calculate

Show equivalent expression

**Calculate**      Hybrid      Conservative

12. ábra A Function Calculator képernyője az eredménnyel

$$\dot{m}_{ISB} = 12 \cdot \dot{m}_{furat} = 0,04264 \text{ kg / s} \quad (10)$$

ahol

- $\dot{m}_{ISB}$  a teljes távozó mennyiség
- $\dot{m}_{furat}$  az egy furaton keresztül távozó mennyiség

Amennyiben megvizsgáljuk az ide vonatkozó mérési eredményeket (6. ábra), azt tapasztalhatjuk, hogy a belépő és kilépő tömegáramok is összhangban vannak a mért eredménnyel:

$$\dot{m}_{be} = 12 \cdot \text{"Mass Flow on Belep"} = 0,2826 \text{ kg / s} \quad (11)$$

$$\dot{m}_{ki} = 12 \cdot \text{"Mass Flow on Kilep"} = 0,24 \text{ kg / s} \quad (12)$$

## Vizsgálatok a teljes áramlási tér modellezésével

### Célok

Miután megvizsgáltam az egyszerűsített geometriát, természetes továbbfejlesztési irány volt a valóság minél pontosabb reprodukálása, ami a teljes áramlási tér modellezését jelentette.

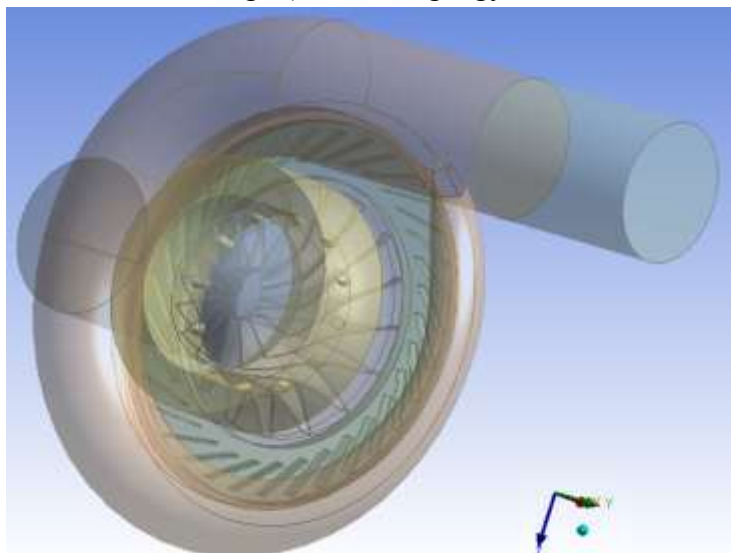
Ennek kapcsán született egy Tudományos Diákköri dolgozat [4], mely során jó egyezést sikerült találni a mért és szimulált kompresszor karakterisztika között.

### A geometria létrehozása

A feladat megoldásában a legelső lépés az áramlási tér modelljének elkészítése, melynek során nagyon fontos, hogy jelen esetben inverz geometria létrehozása szükséges, hiszen a szilárd falakkal határolt térrészen belül kialakuló viszonyok megismerése a célunk. Az adott vizsgálat tekintetében még fontosabb, hogy egymástól jól elkülöníthető modulokból állítsuk össze a teljes áramlási teret, mert azt nem csupán álló tartományok alkotják, hanem van egy olyan térrész is, mely forgó mozgást végez – ez a forgólapátok közötti csatorna. A vizsgált tér a következő tartományokat foglalja magába:

1. szívócsatorna;
2. kompresszor forgólapátozás;
3. lapát nélküli és lapátos diffúzor;
4. csigaház;
5. elvezető cső;
6. pompázsgátló furatok és az atmoszféra a pompázsgátló furatok körül.

A kompresszor egyes funkcionális tartományai közül kitűnik az utolsó, mely a pompázsgátló furatok körül kialakított térrész, melynek határoló felületein atmoszférikus nyomás uralkodik. Mivel ilyen egyértelmű peremfeltétel a pompázsgátló furatokra nem adható meg, ezért volt szükség erre a kiegészítő térfogatra, melyben kialakulhat és vizsgálhatóvá válik a pompázsgátló furatokat elhagyó közeg áramlása. Mindegyik térrész az ANSYS DesignModeler moduljának alkalmazásával készült, kivéve a járókerék lapátozása, melyet IGES formátumban importáltam be SolidEdge tervezőprogramban történő megalkotása után. Ez volt lényegében a kritikus mozzanat a modellezés során, mivel (leszámítva a csigaház belső geometriájának mérési nehézségeit) ez lesz legnagyobb kihatással a végeredményekre.



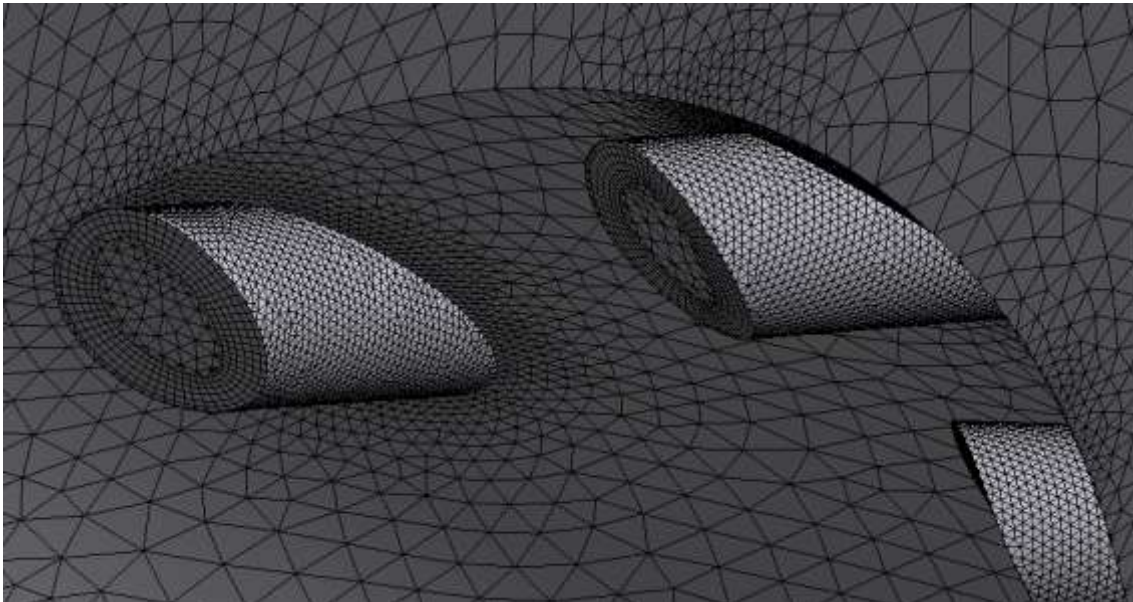
13. ábra A teljes áramlási tér modellje



## Az áramlási tér diszkretizálása

A háló elkészítésénél arra törekedtem, hogy a bonyolult geometria ne jelenthessen problémát a megoldás során, így az összes tartományra megfelelő sűrű hálót próbáltam illeszteni. A beállítások során az egyes tartományok hálóelem méreteit 1,2 és 3mm közötti értékekben határoztam meg, az álló, cső jellegű tartományokra a nagyobb, a forgó, illetve álló, de kisebb áramlási keresztmetszetekből összetevődő tartományokban (lapátos diffúzor, pompázsgátló furatok) a kisebb értékeket alkalmazva. Használtam ezen kívül a határrétegben történő hálósűrítést, 3mm vastagságban 5 réteggel. Végezetül az egyes kritikus, tartományok közötti átmenetet képező felületekre is adtam meg hálóméret előírást, itt 0,5mm elemnagyságot tartottam indokoltnak.

Ezek összesítésével létrejött háló közelítőleg 3.220.000 csomópontot és 12.840.000 elemet tartalmaz, melyek csomópontokból közel 1.000.000 jutott a járókerékre és 800.000 a lapátos diffúzorra. A háló olyan sűrű lett, hogy távlati képet mutatni értelmetlen, több információ nyerhető egy jellemző közelképéből, melyen pl. a pompázsgátló furatrendszer figyelhető meg.



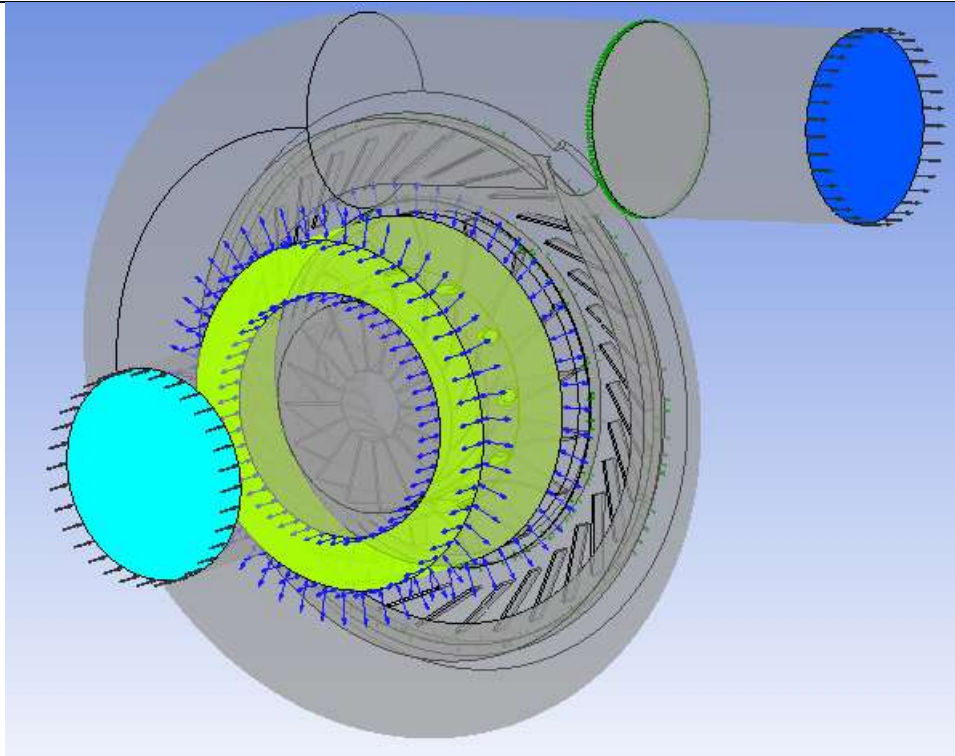
14. ábra A pompázsgátló furatok és az azokat körülvevő atmoszféra hálójának egy része

## A peremfeltételek meghatározása

A vizsgálat során a következő felületek vesznek részt a tömegáramok átbocsátásában:

1. Belépés a szívócsatornába (Inlet)
2. Elvezető cső kilépése – ez Opening feltételként lett meghatározva, mert pompázs esetén visszafelé áramlik a közeg
3. Pompázsgátló furatok körüli atmoszféra – az előzőhöz hasonlóan Opening, mivel a kompresszor különböző üzemiállapotaiban be- és kiáramlás is lehetséges itt

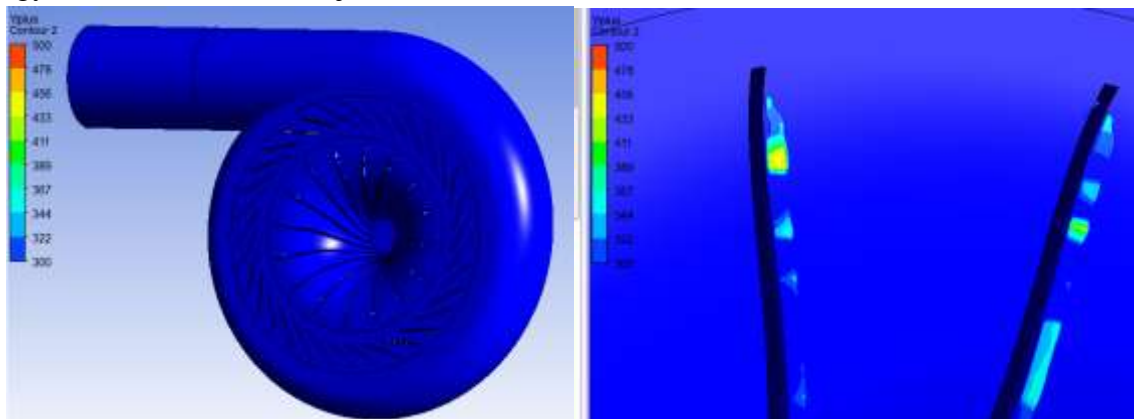
Az alkalmazott peremfeltételekről a 15. ábra ad képet.



15. ábra A teljes áramlási tér peremfeltételei

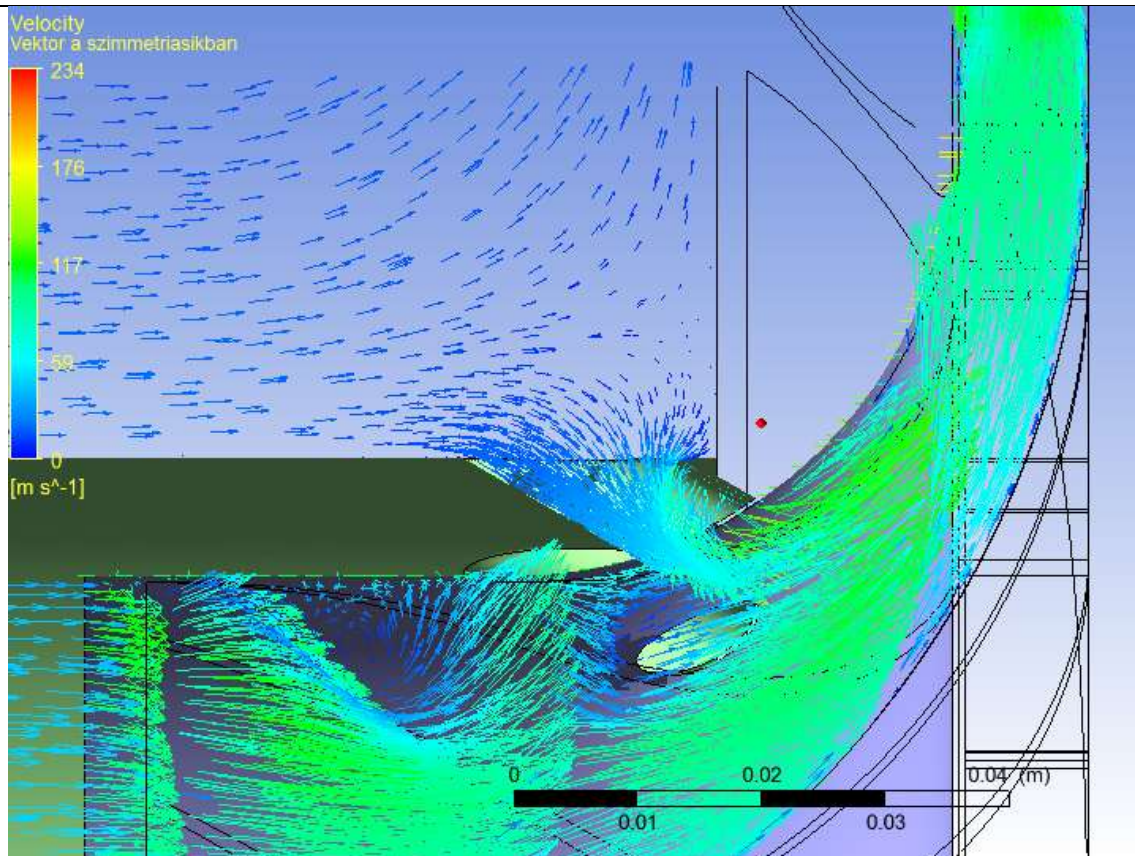
### A szimuláció eredményei

A dimenziómentes faltávolság ellenőrzése hasonlóképpen zajlott az egyszerűsített modellhez. Itt azonban már látható volt, hogy bár nem számottevő mértékben, de előfordultak olyan régiók (járólapátok közelében), ahol ez a változó a megengedettnél nagyobb értéket vett fel, ahogyan azt a 16. ábra mutatja.



16. ábra A dimenziómentes faltávolság  $y^+$  alakulása a teljes áramlási tér modellezésénél

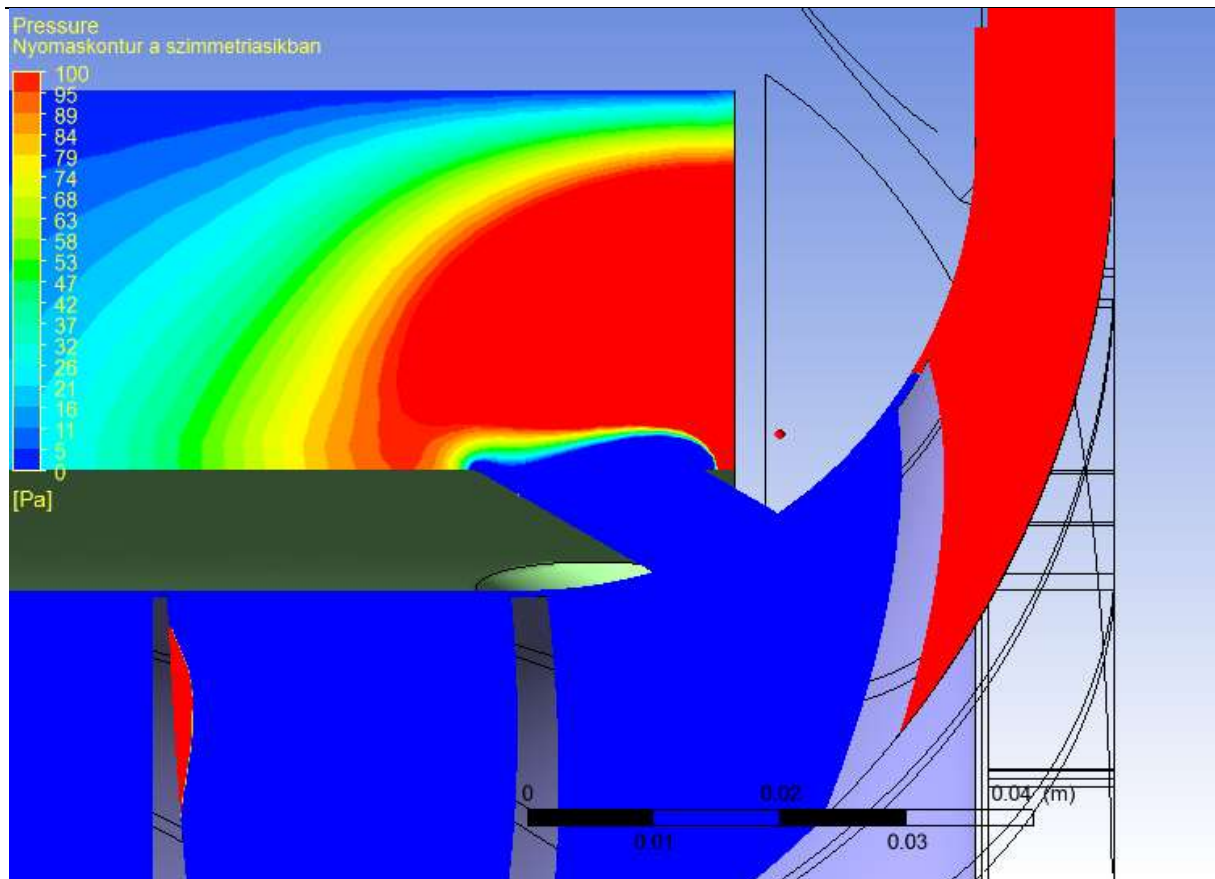
Azonban ha megvizsgáljuk közelebbről a sebességvektorok alakulását a pompázsgátló furatok környezetében, akkor azt tapasztaljuk, hogy éppen ellentétes eredmény adódott, mint az egyszerű vizsgálat során, illetve a mérések alkalmával, vagyis beáramlás történik a furatokon keresztül az atmoszférából a járólapátok közötti térbe. Ezt szemlélteti egy hosszmetzeti képen a 17. ábra.



17. ábra Áramlási viszonyok a pompázsgátló furatokon keresztül (hibás szimuláció)

Mindenképpen meg kell tehát vizsgálni, hogy mi okozza ezt az anomáliát. Ha az előzővel megegyező felületen a nyomáseloszlást megjelenítjük, azonnal kiderül, hogy valamiért a pompázsgátló furatok keresztmetszetében a szimuláció szerint atmoszférikus alatti statikus nyomás uralkodik, vagyis a beáramlás ezt figyelembe véve indokolt. Viszont a mérések során beigazolódott, amely elméletileg is könnyen levezethető, nevezetesen, hogy a csökkenő tömegáramok esetén az irányeltérítés növekedése okán a pompázsgátló furatok keresztmetszetében a statikus nyomás atmoszférikus feletti értékeket ér el, és így, ha ott furatokat létesítünk, ilyen körülmények között kiáramlás jön létre. A nyomásokat a 18. ábra mutatja, ahol sötétkékkel került megjelenítésre minden olyan hely, ahol a statikus nyomás a referencia atmoszférikus értéknél kisebb, vagyis a teljes lapátcsatornában egészen a pompázsgátló furatokig relatív vákuum uralkodik. Ez csak a lapátgeometria helytelen modellezésének tudható be, hiszen ha nem ad megfelelő irányeltérítést a modellezett geometria, akkor értelemszerűen nem lesz valóságos a lapátcsatornában lejátszódó áramlás.

A lapátprofil modellezése azonban igen összetett feladat volt, melynek sikertelenségét számos tényező befolyásolhatta. A bonyolult geometria leképezése kézi mérési módszerekkel rendkívül nehéz, azonban a rendelkezésre álló szűkös keretek mindenképpen igényelték egy gyors modell megalkotását. Sajnos ez a kompresszor már olyan komplikált áramlási térrel rendelkezik, melyet ilyen egyszerű módszerekkel úgy tűnik, nem lehet megfelelően modellezni. Bár a kompresszor karakterisztika szintjén egybevágtak a mért és számított adatok, a lapátprofil eltérése miatt a lapátcsatornában lejátszódó áramlás részletei már nem egyeztek a valósággal.



18. ábra A statikus nyomás eloszlása a hosszmetsetben a pompázsgátló furatok környezetében

## AZ ELÉRT EREDMÉNYEK

Az egyszerűsített vizsgálat során sikerült olyan eredményeket elérni, amelyekkel feltárható volt a kedvezőtlen elhelyezkedésű pompázsgátló furatokon keresztül létrejövő áramlás viselkedése, az egydimenziós egyszerű matematikai modell és a mérések között fennálló különbség mibenléte. Az eredmények egyértelműen rávilágítottak arra, ami műszaki szempontból természetesen várható volt, hogy a nagy irányeltérítést a közeg nem képes lekövetni, ezért olyan leválások jönnek létre, melyek az furat keresztmetszetét jelentősen lecsökkentik. Az így kialakuló tömegáram pedig természetesen már nem elegendő a pompázs megszüntetésére, mint ahogyan az eredendően várható lenne, csupán a pompázshatár eltolódása volt valamelyest kedvező hatással a rendszer stabilitására.

A rendszer teljes szimulációja szintén nagy várakozásokkal elkezdett munka volt, mely azonban jelenlegi állása szerint érdemi eredményt nem tudott még szolgáltatni, a fent megállapított okok miatt. Ennek köszönhetően a közeljövő egyik legfontosabb tennivalója a kompresszor járókerék háromdimenziós szkennelési eljárással történő digitalizálása lesz, vagyis olyan modell létrehozása, mely minden tekintetben megfelel az elvárásoknak, és minden keresztmetszetében olyan áramlási viszonyok kialakulása szimulálható CFD-vel, mint ami a valóságban is létrejön.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] BENEDA Károly Tamás: Centrifugálkompresszor fali megcsapolásán alapuló aktív pompázs-szabályzásának matematikai modellje. Repüléstudományi Konferencia 2010, Szolnok – . HU ISSN 1778-770x.
- [2] BENEDA Károly Tamás: Experimental Investigation of Centrifugal Compressor Surge Protection Using Variable Inducer Shroud Bleed. MOSATT International Scientific Conference, Kosice, Slovakia, 20-22. September 2011. pp. ISBN
- [3] BENEDA Károly Tamás: Mathematical Model of Variable Inducer Shroud Bleed in Centrifugal Compressors for Active Surge Suppression. 12th MINI Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies. Budapest, 2010.
- [4] PALLAG Nándor: Centrifugál kompresszor modellezésének lehetősége numerikus-áramlástani szoftverrel. TDK dolgozat. BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Tudományos Diákköri Konferencia, Budapest, 2011. november
- [5] Dr. VERESS Árpád: Bevezetés a áramlástan numerikus módszereibe. BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2002.
- [6] JAPIKSE, David: Centrifugal Compressor Design and Performance. Concepts ETI, Wilder (Vermont), USA, 1996.

Gönczi Gabriella<sup>1</sup>

## A LÉGIERŐ KÉNYSZERÍTŐ ALKALMAZÁSÁNAK TEÓRIÁI<sup>2</sup>

### *Rezümé*

*Jelen tanulmány a légierő politikai és diplomáciai determináltságából kiindulva kifejti a koercitív, kényszerítő diplomáciai stratégia fogalmát, jellemzőit és egyes történelmi példáit. Ehhez kapcsolódva a szerző bemutatja az ún. kényszerítő légierőt, mint a kényszerítő politikát hatékonyan támogatni képes eszközrendszert, „koercitív instrumentumot”. Bemutatja a kényszerítő erő alkalmazásán alapuló „kényszerítő légierő stratégiák” egyes típusait, elméleti megalapozottságukat és hátterüket és megvizsgálja az összefüggéseket a kényszerítő stratégiák különböző típusainak alkalmazási lehetőségei között.*

### **THEORIES OF COERCIVE AIR POWER**

### **Abstract**

*The present study describes “coercive air force’s strategies” are based on coercive features force application as an integrated part of effort of diplomacy and describes two coercive diplomacy case studies. On this basis the author expounds the concept of a coercive diplomatic strategy and presents the airforce as a coercive instrument. Different types of coercive air strategies with theoretical framework and background are presented and the connection between them and their adoption and application (air campaign, air operations) of aerial warfaer resources are explained.*

## BEVEZETÉS

Jelen tanulmány az elmúlt évszázad légierővel kapcsolatos elméletei közül azokat veszi górcső alá, amelyek középpontjában a légierő ún. koercitív, kényszerítő jellegű alkalmazásai állnak. Annak alapján, hogy a hadászati célokat milyen módon, milyen eszközrendszerrel és milyen hatásmechanizmuson keresztül lehet megvalósítani, négy jól körülhatárolható irányzat figyelhető meg, a későbbiekben ezeket kényszerítő légierő stratégiáknak nevezem (coercive air strategies). Bemutatom, hogy mikor, milyen történelmi és politikai környezetbe ágyazódva alakultak ki az egyes stratégiatípusok, milyen jellemzőkkel bírnak és melyek voltak az alkalmazás sikerei vagy kudarcai. Ma már a katonai stratégiai döntéshozatal során ezek a típusok nem önállóan, elkülönülten, hanem együttesen, egy összefüggő stratégiai cselekvéssorozatnak a részeként jelennek meg, olyan „építő kövek”, amelyeket az adott szituációnak megfelelő módon és sorrendben alkalmazva biztosíthatják a fő katonai és politikai célok elérését.

<sup>1</sup> adjunktus, Dunántúli Főiskola, gonczig@mail.duf.hu;

<sup>2</sup> Lektorálta: Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

---

## A LÉGIERŐ MINT A KÉNYSZERÍTŐ DIPLOMÁCIA ESZKÖZRENDSZRE

A kényszerítés erőszak alkalmazása a másik fél (felek) magatartásának a befolyásolására, amelynek a hatására az ellenfél (ellenfelek) úgy dönt(enek), hogy magatartásukat megváltoztatják, semmint elszenvedik a kilátásba helyezett büntetést. A kényszerítés pszichés mechanizmusának a lényege, hogy a nem kívánatos cselekvés/magatartás megváltoztatásának az alapja félelem, a félelem egy várható büntetéstől vagy a már bekövetkezett büntetés megismétlődésétől. A kényszerítés politikájában tehát mindenképpen megjelenik az erőszak, ez a kényszerítés alapja, abban azonban megosztott a szakirodalom, hogy ez a már bekövetkezett, tényleges károkozás kell legyen, vagy elegendő a kilátásba helyezett büntetés, a várható veszteség keletkezésének a lehetősége. Alexander George és Robert Pape kényszerítés elméletében a kényszerítés alapja a már bekövetkezett erőszak, ennek a megismétlődésétől való vélelem vezet a nem kívánt magatartás feladására.[1.] Thomas Schelling<sup>3</sup> viszont a kényszerítés fogalmát két elemre bontotta, ugyanakkor a fogalomnak az egyik oldala az aktív elem (compellence) a már bekövetkezett büntetés és egy passzív elem (deterrence) a várható, de még nem elszenvedett büntetés. [2.] Véleménye szerint mindkét esetben kényszerítésről beszélhetünk, és mindkét elem önmagában elvezethet az ellenfél magatartásának a megváltoztatásához, sőt ha az erőszak alkalmazás már megtörtént és elpusztított majdnem mindent, ami az ellenfél számára értékes volt, semmi nem indokolja azt, hogy a magatartását ne folytassa, akár intenzívebben is, mint eddig. „A kényszer hatásosságát tehát sokkal inkább az a várható veszteség fogja meghatározni, ami még nem következett be” [3.]

Véleményem szerint a kényszerítés tág kategória, legyen az már bekövetkezett vagy látens, várható büntetés, aminek a bekövetkezésével lehet fenyegetni (elrettentés) vagy alkalmazni korlátozott vagy korlátozás nélküli mértékben (megtorlás) azzal a céllal, hogy rábírnjuk vakit, valamely csoportot vagy szervezetet magatartásának a megváltoztatására. Katonai értelemben az ellenfelet kell rávenni a magatartásának megváltoztatására mielőtt a konfliktus háborúvá eszkalálódna. A kényszerítő diplomácia eszközrendszerét tehát még a konfliktus kiteljesedése előtt célszerű alkalmazni, erőfeszítéseket téve a nem kívánatos cselekvéssorozat abbahagyására, megváltoztatására vagy kompromisszumos megoldás keresésére.

Alexander George [4.] szerint a kényszerítő diplomácia célja több minden lehet. Meggyőzni a szemben álló felet arról, hogy hagyjon fel eddigi viselkedésével (a.) vagy nemcsak a viselkedésével hagyjon fel, hanem forduljon el az eredeti szándékától is (b.) vagy forduljon el, illetve változtassa meg egész politikai hatalmi rendszerét (c.). Arra hogy ezeket az egymásra épülő célokat hogyan lehet megvalósítani, a kényszerítő diplomáciának több módszer áll a rendelkezésére. A legismertebb az ultimátum, amelyben meghatározásra kerül a szemben álló fél számára a kívánatos magatartás, a cselekvés végrehajtásának a határideje és a végrehajtás elmulasztásához kapcsolódó büntetés, szankció. Előfordul, bár ritkábban, hogy előzetes ultimátum nélkül kerül sor erőszakos akciók végrehajtására. Ebben az esetben a hangsúly a vég-

---

<sup>3</sup> Nobel-díjas közgazdász. Első műve 1960-ban jelent meg A konfliktuskezelés stratégiája címmel, második műve 1966-ban Fegyverek alkalmazása és hatása (Arms and Influence) címmel jelent meg. Kutatásai során alapvetően stratégiai kérdésekkel foglalkozik, többek között az erőszak alkalmazásával a diplomáciában és a politikában és stratégiai játékelmélettel.

rehajtott akciók által okozott kár nagyságán van, az elszenvedett csapások következtében a szemben álló fél képtelen a cselekvésének a folytatására. Az a gyakoribb eset, amikor az akciók inkább csak demonstratív jelleggel nem olyan intenzitással kerülnek végrehajtásra, mint az előző esetben, ilyenkor a hangsúly nem az okozott kár nagyságán, hanem az akciók figyelemfelhívó jellegén van. A szemben álló fél a várható még nagyobb veszteségek elkerülése érdekében változtat a magatartásán.

Szintén megosztott a szakirodalom abban a kérdésben, hogy a milyen a kényszerítő diplomácia és a katonai erő alkalmazásának a viszonya. Gross Stein véleménye szerint a kényszerítő diplomácia hatásköre a katonai erő alkalmazásáig terjed, időben megelőzi azt. A kényszerítő diplomácia alkalmazása adott esetben akkor tekinthető sikeresnek, ha a konfliktust megoldani, az ellenfél szándékait, magatartását úgy sikerül megváltoztatni, ha katonai erő alkalmazására csapásmérő jelleggel nem kerül sor. [5.] John F. Kennedy elnök 1962-ban a Disznó-öbölbeli konfliktus kezelése során kényszerítő jellegű diplomáciai stratégiát használt, amely Stein véleménye alapján is sikerre vezetett. A szuperhatalmak közti konfliktus abból származott, hogy a volt Szovjetunió ballisztikus rakétákat telepített Kubába, az Egyesült Államok közvetlen közelébe. Válaszul az amerikai elnök elrendelte a Kuba körüli hatalmas tengerészeti erőt felvonultató tengeri blokádnak felállítását, és azt az üzenetet küldte Hruscsov szovjet elnöknek, hogy ettől nagyobb erőket is hajlandó bevetni szükség esetén. Ugyanakkor késznek mutatkozott tárgyalóasztalhoz ülni és a konfliktust békés úton rendezni. A katonai erő felvonultatására és az erőszakkal való fenyegetés hatására Hruscsov a tárgyalás mellett döntött, amelyek során mindkét fél engedményeket tett, Hruscsov beleegyezett abba, hogy visszavonja rakétáit Kubából, Kennedy pedig Törökországból. Stein és Pape véleménye szerint viszont nem vezetett sikerre az 1990-91-es Öböl-háborúban alkalmazott kényszerítő jellegű diplomáciai stratégia. Kuvait Irak általi lerohanása után 1990. november 29-én az ENSZ Biztonsági Tanácsa a következő ultimátumot fogadta el<sup>4</sup>: „amennyiben Irak 1991. január 15-ig nem hagyja el Kuvait területét, a Biztonsági tanács jogosnak mondja ki Kuvait minden erővel, így katonai erővel való megsegítését is.” Az ultimátummal egy időben gazdasági embargót rendeltek el Irak ellen és megkezdték a katonai erők felfejlesztését a térségbe (Sivatagi Pajzs hadművelet) Ez volt a kényszerítő diplomácia két kísérlete a válság kezelésére, Irakra azonban nem sikerült nyomást gyakorolni és 1991. január 16-án megkezdődött a válság kezelésének második szakasza, a Sivatagi Vihar hadművelet.

Más szerzők véleménye szerint a katonai erő alkalmazása, bevetése része a kényszerítő diplomácia eszközrendszerének. [6.] Ha a katonai stratégiai politikai determináltságából indulunk ki, akkor joggal mondhatjuk azt, hogy a katonai erő alkalmazása része a politika diplomáciai alrendszerének is. E logika mentén pedig kijelenthető, hogy a kényszerítő diplomácia eszközrendszere nemcsak lágy eszközöket, hanem a katonai erő eszközeit is tartalmazza, a diplomáciai erőfeszítések egy része a katonai erő alkalmazásán való fenyegetésen (fenyegetés) és a tényleges csapásmérésen (büntetés), azok befejezésén illetve újrakezdésén alapul (elrettetés).

Ezt a jelenséget a szakirodalom KÉNYSZERÍTŐ JELLEGŰ HADVISELÉS (Coercive Military) nevezi, amit én úgy definiálok, hogy „a kényszerítő diplomácia részhalmaza, a katonai erő direkt vagy indirekt felhasználása arra, hogy a szemben álló fél akaratára vagy akaratér-

<sup>4</sup> ENSZ BT 660-664. határozat



vényesítő képességére a politikai vezetés nyomást gyakoroljon.”<sup>5</sup> Erre a feladatra véleményem szerint természeténél fogva a légi haderő a legalkalmasabb. A légi haderő széles és nagy spektrumú hatókörrel bír, gyorsan bevethető taktikai és stratégiai célpontok ellen egyaránt, ami a kényszerítő jellegű hadviselés tervezésénél kiemelt prioritás. A légi haderő tehát kiválóan felhasználható arra, hogy a kijelölt célpontok gyors és hatékony pusztításával vagy a pusztító képesség felvonultatásával a szemben álló fél akaratára nyomást gyakoroljon, azaz a kényszerítő jellegű hadviselés eszköze lehet. A szakirodalom a légi haderő kényszerítő jellegű alkalmazását KÉNYSZERÍTŐ JELLEGŰ LÉGI HADVISELÉSI STRATÉGIÁKNAK (Coercive Air Strategies) nevezi, és több típusát különbözteti meg. Az egyes típusok között lényegi különbség van a célpontkiválasztás és kényszerítő erőfeszítések intenzitása és a hatásmechanizmus szempontjából.

## A LÉGI HADERŐ KÉNYSZERÍTŐ STRATÉGIÁI TÍPUSAI

A légi haderő alkalmazásával kapcsolatos első, máig ható elmélet az olasz Giulio Douhet tábornok nevéhez köthető, aki a „Légi uralom” című művében [7.] publikálta a korlátlan légi háború teóriáját. Véleménye szerint a légi haderő a szárazföldi és tengerészeti erők kiszolgáló, biztosító tevékenysége mellett önállóan és egyedül képes az ellenség hadi potenciáljának a légtérből való teljes megsemmisítésére. [8.] A polgári lakosság ellen indított folyamatos támadások pedig képesek olyan mértékű szenvedést okozni a lakosságnak, amelyet elviselni már nem bírnak és nyomást gyakorolnak a döntéshozókra a háborús célok feladására. Bár az elmélet helyessége természetesen erősen vitatható, kétségtelen, hogy ez egyfajta kényszerítő stratégia, amelynek középpontjában az ellenségnek okozott nagymértékű, már bekövetkezett károkozás, fizikai és pszichikai sokkhatás áll. Ebben az esetben a légi haderő számára kijelölt célpontok olyanok, amelyek pusztításának direkt és indirekt, tovaryűrűző hatása széles spektrumú. Hasonló következtetésre jutott Alexander de Seversky is [9.], bár a légi haderő stratégiai célpontjainak ő az ellenséges nemzet iparának nagyobb fontosságú létesítményeit és infrastruktúráját jelöli ki, a gondolatmenet Douchet-hoz hasonló. Az ipari létesítmények és infrastruktúra kulcselveinek elpusztítása működésképtelenné teszi az ellenséges hadi és azt kiszolgáló ipart, ez vezet a döntéshozók véleményének és a háborús magatartás megváltoztatásához.

Ezt a stratégiát nevezem a továbbiakban a MEGTORLÁS stratégiájának (maximal punishment) amelynek középpontjában a lehető legerősebb csapásmérés, a legnagyobb sokkhatás okozása áll. Szélsőséges esetben a célpontok lehetnek polgári lakónegyedek, mint Douchet-nál, vagy kevésbé szélsőséges esetben az infrastruktúra elemei, mint például az áram- és vízvezeték-hálózatok, termelőüzemek, mezőgazdasági telepek, amelyek hiányában a lakosság elemi szükségletei nem vagy csak nehezen elégíthetők ki. A civil lakosság nélkülözése, szenvedése pedig elvezet(het) oda, hogy a saját kormánya ellen fordul, a döntéshozókat leváltják vagy rájuk olyan nyomást gyakorolnak, amelynek kitéve megváltoztatják a konfliktusban tanúsított magatartásukat.

A stratégia alkalmazására számtalan hadtörténelmi példát találhatunk, az első világháború bombázásai és második világháború szőnyegbombázásai is ide tartoznak. A stratégia a légi haderő

<sup>5</sup> Saját megfogalmazás

már végrehajtott csapásain alapul, amelyek hatása nagymértékű, bénító és félelemkeltő. Azt azonban nem szabad elfelejteni, hogy a stratégia ugyan azt hangsúlyozza, hogy a rombolás, a pusztítás már megtörtént, mégis kell, hogy maradjon valami pusztítással való fenyegetés, ami még a jövőben bekövetkezhet, különben az ellenfél minden mindegy alapon akár még növelheti is háborús erőfeszítéseit nemhogy feladná eredeti politikáját.

Az 1930-as években a légierővel kapcsolatos koncepciókban új irányzat jelent meg, amely logikájában ugyan hasonlít Douchet elméletére, a hangsúly továbbra is a lehető legnagyobb mértékű károkozásra van, a célpontokat azonban nem a hátszágban jelölik ki, hanem a hadszíntéren. A MEGSEMISÍTÉS stratégiája (denial) alapján, ha az egyik félnek sikerül elérni, hogy az ellenfél harcoló alakulatai képtelenné váljanak a háború folytatására, az ellenfél döntéshozói elállnak eredeti szándékaiktól, megváltoztatják magatartásukat a kényszerítő akarata szerint. A stratégia Douchet-val analóg, abból a szempontból, hogy a célja az ellenség akaratának, ellenálló képességének a felszámolása, de ez elsősorban olyan közvetlen támadásból ered, amely az ellenség tábori erőire irányul. Az ilyen jellegű támadások helyileg általában a frontvonalhoz közel kerülnek végrehajtásra és a célpontokat közeli légi támogatás módszerével támadják. A csapások természetétől és mélységétől függően az ellenséges erők többé vagy kevésbé képtelenné válnak a tevékenységük folytatására fizikailag, ami ahhoz vezet, hogy a döntéshozók kénytelenek magatartásukban és politikájukban is változtatást eszközölni. Ez a stratégia típus John. C. Slessor és Robert Pape műveiben jelenik meg a legmarkánsabban: a támadások célpontjai a katonai erők, érdekes azonban, hogy Pape a légierőt önmagában, a felszíni erők támogatása nélkül nem tartja alkalmasnak a háborús célok elérésére.

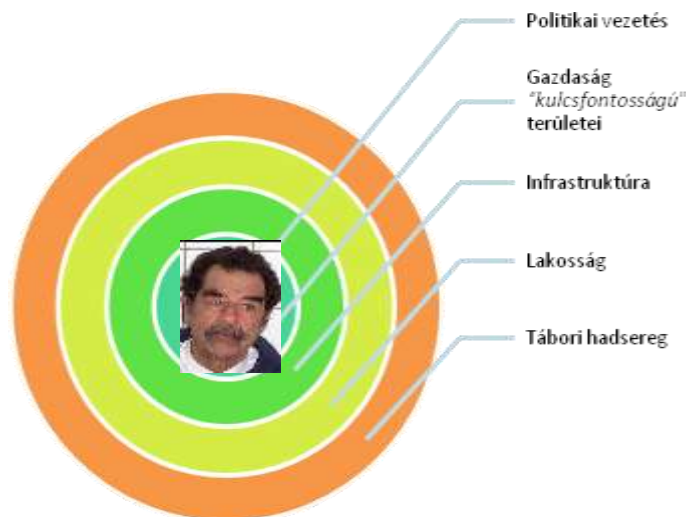
A második világháború végén és a hidegháború éveiben új a légierő stratégiai alkalmazásával kapcsolatban új, véleményem szerint az előzőektől lényegesen eltérő elméletek jelentek meg, amelyek a csapásmérések pontosságát és növekvő intenzitását helyezték a koncepció középpontjába, a rohamosan fejlődő technika lehetővé tette ugyanis, hogy egyre pontosabb, rövid és kimért csapásokat mérjenek az ellenségre, annak nagy fontosságú célpontjaira. A MEGFÉLEMLÍTÉS (ideal risk) stratégiája a fokozatosság és a várható veszteségek elkerülésének elvén alapul: a támadást rövid, de nagy pontosságú csapásokkal kell kezdeni az ellenség nagy értékű célpontjai ellen, utána szünetet kell tartani, időt hagyva, hogy az ellenség számára világossá váljon, mibe kerül neki, ha folytatja a háborút. Ha nem változtat politikáján, akkor újabb támadások kerülnek megindításra, hogy eszkalálják a rombolás mértékét. Az elsődleges hatásmechanizmus itt tehát nem a magas szintű, már elszenvedett büntetés, megtorlás, hanem a félelem attól, hogy mibe kerülhet az ellenségnek a háború esetleges folytatása. Ahhoz hogy egy ilyen jellegű stratégia sikeres legyen, elegendő nagy értéket képviselő célpontot kell hagyni az ellenség számára, ami a jövőben beépített fékként működik majd. Ezt a stratégiát először Thomas Schelling említi 1960-ban megjelent könyvében, véleménye szerint a nagy értékű célpontokra gyakorolt ciklikus, szünetekkel megtört, és fokozódó intenzitású támadások a várható veszteségek (kockázatok) átgondolására készítik a döntéshozókat és eljutnak oda, hogy elálljanak vagy megváltoztassák eredeti szándékaikat.

Hasonló következtetésre jutott Charles E. Osgood amerikai pszichológus is, ő a stratégiának a GRIT nevet adta<sup>6</sup> és elsősorban a nukleáris fegyverkezési verseny csökkentésére javasolta

<sup>6</sup> Graduated and Reciprocated Initiatives in Tension: Fokozatos és viszonzott feszültségcsökkentő intézkedések

alkalmazni [10.]. Lényege, hogy a feszültség növelésével (például egy rövidebb ideig tartó légi csapással) majd egy békülékeny gesztus megtételével az ellenfelet hasonló békülékeny gesztusra lehet bírni. Ez a kockázatviselő stratégia jól szolgálta az elrettentést nukleáris szinten, azonban a Vietnami-háborúban nem működött, a légi csapások közti szünetet a légvédelem megerősítésére használta az észak-vietnami kormány, a tárgyalásokat mindvégig elutasították. Elemzők véleménye szerint azért lehetett így, mert ha egy nemzet elkötelezte magát az elhúzódó hagyományos háború mellett, akkor a légierő tevékenységéből származó veszély már nemigen múlhatja felül azt a kockázatot, amit az adott nemzet felvállalt a háború folytatásával és az északiak akár nagyobb árat is hajlandók lettek volna fizetni, mint amekkora veszteséget az amerikai támadások okoztak.

Az 1990-es években került publikálásra a legújabb elmélet, a LEFEJEZÉS stratégiája (decapitation), amely nem az ellenséges harcoló alakulatokat, polgári lakosságot vagy ipari létesítményeket helyezi a stratégia középpontjába, hanem az ellenséges vezetést és a parancsnoki irányító apparátust.



Warden "ötgyűrűs" célpont-tervezési modellje

(Forrás: AFDD 2-1. Air Warfare, USAF)

Ez akár olyan közvetlen támadást is jelenthet, amely az ellenséges nemzet vezetésének, kormányának meggyilkolását is magában foglalja. Azáltal, hogy megsemmisül (kvázi megbénul) az ellenség parancsnoki irányító rendszere, gátolva van abban a képességében, hogy irányítsa katonai egységeit vagy felderítési, hírszerzési információkkal lássa el azokat. Ez a bénítás vezethet a győzelemhez, az ellenfél politikájának a megváltozásához. John Warden ötgyűrűs modelljének [11.] középpontjában is a vezetés áll, ezen legbelső kör célpontként való kiválasztása azért szerencsés, mert az okozott kár tovagyűrűző hatása révén az ellenség egész rendszere megbénítható. Műveiben természetesen azt is hozzáteszi Warden, hogy ha van rá légi műveleti kapacitás a maximális hatás elérése érdekében a többi gyűrűt (célpontot) is támadni kell, de az általa meghatározott sorrendben.

A következő mátrix összefoglalóan mutatja be a vázolt klasszikus stratégiákat és azokat a háborús szinteket, amelyeken a szerzők a légierő alkalmazását javasolják.

	Megtorlás	Megsemmisítés	Megfélemlítés	Lefejezés
Stratégiai célpontok	lakosság városok ipari létesítmények	hadszintér harcoló alakulatok	lakosság ipari létesítmények	vezetés
Hatásmechanizmus	szenvedés lázadás a politikai vezetés eltávolítására	kapacitáshiány háborús összeomlás megadás	félelem a várható jövőbeni veszteségektől	működésképtelen irányítási rendszerek összeomlás
Háborús szint	hadászat	hadművelet-harcászat	hadászat	hadászat
Teoretikus	Douhet de Seversky	Pape	Schelling	Warden

1. táblázat A kényszerítő stratégiák összefoglaló táblázata (forrás: saját szerkesztés)

A háború szintjei az általánosan használt felosztás szerint hadászat, hadművelet és harcászat. A hadászati/stratégiai szinten egy nemzet vagy egy koalíció meghatározza a biztonsági célkitűzéseit és irányelveit. A hadműveleti szint a háború hadművelet szintjén végrehajtandó tevékenységek összességét jelenti, összekötve a csapatok harcászati szintű alkalmazását a stratégiai célkitűzésekkel. A hadműveleti szint felelősségi körébe tartozik a szervezés, a csapatok telepítése, integrációja, és az, hogy a különböző hadműveleteket, hadjáratokat levezesse. A szó szoros értelmében vett vezetés ezen a szinten irányítja a harctéren lévő harcászati erők tevékenységének irányát és együttműködését. A harcászati doktrína részletes útmutatást biztosít a harcászati alegységeknek az egyes harcok sikeres megvalósításához.

A légi erő tekintetében tovább finomíthatjuk a háború szintjeit. A stratégiai szint a katonai célt/célokat határozza meg, amelyeket meg szeretnének valósítani az ellenség célba vételével. A háborúnak ezen a szintjén hozott döntéseknél nagymértékben figyelembe veszik az ellenségre gyakorolt széles dimenziójú rendszer jellegű hatásokat, ezeket a döntéseket azonban közvetlenül és nagymértékben befolyásolja az adott nemzet politikája. Hadműveleti szinten döntenek el, hogy melyik célpontot támadják meg a célkitűzés megvalósítása érdekében, és hogy ezeket hogyan koordinálják, annak érdekében, hogy teljesíthessék a katonai végcélokat. A hadműveleti szint tehát átveli azt a távolságot, ami a „célpontok fizikai bombázása” és az ellenség politikájának befolyásolása között húzódik.

A légi erő, mivel sokkal nagyobb kiterjedésű területen képes tevékenységet folytatni, mint a felszíni erők, bír azzal a képességgel, hogy viszonylag rövid idő alatt a háború három szintje közül bármelyikén támadást hajtson végre az ellenséggel szemben. Mégsem szabad összekevernünk a háború szintjeit (amelyen a műveletet végezzük) és a cél által képviselt szintet. Például egy két géppárból álló repülőraj csapását harcászati műveletként értelmezhetnénk, mivel a háború harcászati szintjén tevékenykednek. Viszont ha ennek a négy repülőnek a célja az ellenség ipari létesítményeinek a megsemmisítése, akkor hadászati célokról, ha a célja az ellenség hadszintéri főparancsnoksága, akkor hadműveleti szintű célokról, és ha a célja az ellenséges harcoló alakulatok megsemmisítése, akkor valóban harcászati szintről beszélhetünk. A megkülönböztetés tehát, hogy a célpont milyen szintet képvisel, alapvetően azon múlik, hogy milyen közvetlen célt lehet elérni a célpont megsemmisítésével.

A légierő előzőekben bemutatott teoretikusai mindannyian önálló stratégiát javasolnak, melyek úgy tűnnek, hogy működnek hasonló körülmények között a háború valamely szintjén. De valóban így van ez? Nem alkalmazható a lefejezés stratégiája harcászati szinten vagy nem teljesül az akadályoztatás indirekt hatása hadműveleti szinten? A klasszikus megtorlást előnyben részesítő teoretikusok, mint Douhet a megtorlást kizárólag stratégiai szinten vizsgálta, figyelmen kívül hagyva gyakran hatékonyabb harcászati szintű megtorlást, mikor is az ellenség tábori csapatai kerülnek támadás alá. Véleményem szerint nem összpontosíthatunk csupán egyetlen stratégiára és nem remélhetjük azt, hogy annak kizárólagos alkalmazásával elérjük céljainkat. Meg kell vizsgálnunk a háború minden szintjét a kívánatos végkimenetel érdekében és át kell tekintenünk, hogy az indirekt hatások hogyan befolyásolják a rendszer működését. Ebben nyújthat segítséget a következő, ún. egyesített megközelítést alkalmazó modell.

## AZ EGYESÍTETT MEGKÖZELÍTÉS MODELLJE

Az egyesített megközelítés végiggondolja az egész mátrixot, majd ezután koncentrálna arra, hogy a légierőt hol lehet a leghatékonyabban alkalmazni. Ez az elmélet illeszkedik Sir John Slessor és William Shermann elméletéhez, akik nem tették magukévá teljes egészében Douhet, Warden, vagy Pape elméletét. Mindketten kiegyensúlyozottabb álláspontot képviseltek az ellenségnek a légierő által való kényszerítésével kapcsolatban. Nyitva hagyták mindhárom háborús szint alkalmazásának lehetőségeit a különböző célpontok ellen, ha az szükséges. Ez a nézőpont magában foglalja az egyesített összhaderőnemi műveletek elméletét is, és nem kísérli meg a légierőt egyoldalúan a többi haderőnem fölé emelni, azt állítván, hogy majd ez nyeri meg a jövő háborúját. Ahelyett hogy a fenti mátrix egyes celláira koncentrálna, azt javasolja, hogy az egész képet egyben tekintsük át, és váltsunk a táblázat egyik cellájáról a másikra, ha a helyzet úgy kívánja.

A korlátozás stratégiáját alapul véve például megtámadjuk az ellenség kenő- és üzemanyag raktárait és ellátó vonalait, ennek viszont a statikus védelemben nem biztos, hogy jelentős hatása lesz. Viszont ha támadásban vagy visszavonulásban van az ellenség és nagy ütemben használja ezeket a készleteket, a hatás minden bizonnyal felülmúlja majd várakozásainkat. Az ellenséges csapatok élelem- és vízkészletének bombázása is roppant hatékony lehet szélsőséges időjárási körülmények között vívott háborúban például sivatagi területen, de ha az ellenség könnyen megéli a helyi beszerzésekből, rekvirálásokból, akkor ez a stratégia nem fog működni.

A lefejezés stratégiáját alapul véve szintén többféle kimenettel számolhatunk. Ha az ellenség kevésbé függ a központi vezetéstől, csapatai kevésbé centralizáltak, kevésbé fogja befolyásolni a lefejezés, mivel katonai doktrínája lehetővé teszi az egységek számára, hogy hosszabb ideig kommunikáció és egyéb tekintetben elszakadjanak előljáróiktól és lehetővé teszi az alsóbb szintű parancsnokoknak, hogy gyakorolják kezdeményezőképességüket és tovább harcoljanak céljuk elérése érdekében és irányában.

Az előzőek alapján én is azt gondolom, hogy a stratégia készítés során a kényszerítő stratégiák összes mechanizmusát – korlátozás, lefejezés, megtolás, kockázatviselés – figyelembe kell venni és ezeket a különálló eljárásokat egyazon átfogó stratégiai koncepcióba kell rendezni. Lévén, hogy a stratégiai tervezés időszakában többnyire hiányos információkkal rendelke-

zünk, valóban az tűnik a legjobb megoldásnak, ha több, egymással párhuzamos hatás kiváltását tervezzük meg, bízván abban, hogy közülük egy vagy kettő pontosan úgy fog működni, ahogyan terveztük. Így volt ez a második világháborút követően zajló nagyobb háborús konfliktusok esetében, ahol az amerikaiak alkalmazták mind a megtorlás, mind a megsemmisítés, mind a megfélemlítés stratégiáját, az 1991-es Öböl-háborúban pedig a lefejezés stratégiáját.

A következő táblázatban azt foglalom össze, hogy az egyes háborúk során a kényszerítő stratégiák mely típusa bizonyult a legsikeresebbnek.

	Megtorlás	Megsemmisítés	Megfélemlítés	Lefejezés
Korea 1950-51	alkalmazás		sikeres alkalmazás	
Korea 1952-53	alkalmazás	sikeres alkalmazás	alkalmazás	
Vietnam 1965-68	alkalmazás	alkalmazás	alkalmazás	
Vietnam 1972.		sikeres alkalmazás	alkalmazás	
Kuvait 1991.		sikeres alkalmazás		alkalmazás

2.táblázat A kényszerítő légi stratégiák megjelenése  
egy a II. világháború utáni háborús konfliktusokban (forrás: saját szerkesztés)

## ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányomban kísérletet tettem, a légierő politikai és diplomáciai determináltságából kiindulva, hogy görcső alá vegyem, hogy melyek lényegi jellemzői a kényszerítő erő alkalmazásán alapuló ún. „kényszerítő légierő stratégiáknak”. Megvizsgáltam az összefüggéseket a kényszerítő stratégiák különböző típusai között és megállapítottam, hogy ezeket nem, mint elkülönült stratégiákat célszerű alkalmazni, hanem egy egyesített, koherens modellben, amely elképzelés a stratégiát egy szervesen összefüggő cselekvéssorozatnak fogja fel. Azt hogy a döntéshozók, mikor melyik elemét alkalmazzák a modellnek, és a háborúnak mely szintjén, csak azután lehet meghatározni, hogy alaposan megvizsgálták az adott konfliktus minden körülményét és összetevőjét és optimalizálják az egyes elemek hatásait és konvergenciáját.

Összegezve, kijelenthetjük, hogy nincsenek előre kész receptek, sablonok a légierő sikeres alkalmazására, csak olyan „modulok, építő elemek”, amelyeket az adott helyzetnek megfelelő sorrendben és módon egymás után rakva és alkalmazva biztosítható a politikai célok által determinált katonai célok elérése.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> A tanulmány az OTKA 84368. számú „Az egyetemes és a magyar légi hadviselés elméletének és gyakorlatának fejlődéstörténete” című projektjének támogatásával készült.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] PAPE Robert: Bombing to Win Air Power and Coercion in War Cornell Univerity Press 1996.;
- [2] SCHELLING Thomas: A Strategy of Conflict reprint 1980. Harvard Univeristy Press;
- [3] Shelling, Thomas: Arms and Influence ,Yale Univeristy Press 1966.;
- [4] GEORGE Alexander and William Simon: The limits of coercive diplomacy 2nd Review Westview Press Colorado 1994.;
- [5] STEIN Jenice Gross: Deterrence and Compellence int he Gulf 1990-1991. In International Security Autumn 1992. pp. 147-179;
- [6] BRATTON Patrick C: When is coercion succesfull? In Naval War College Review Summer 2005. pp. 99-120.
- [7] DOUCHET, Giulio: The Command of the Air. Translated by Dino Ferrari. New York: Coward-McCann Inc., 1942; reprint, Washington D.C.: Office of Air Force History, 1983.;
- [8] KRAJNC Zoltán: A légierő mint eszmerendszer 2009. <http://legiero.blogspot.com/2009/02/dr-krajnc-zoltan-legiero-mint.html>;
- [9] DE SEVERSKY, Alexander: Victory through Air Power New York: Simon & Schuster, 1942.;
- [10] OSGOOD Charles: An Alternative to War or Surrender University of Illiois Press 1962.;
- [11] WARDEN, John: Enemy as a system, In: Air Power Journal, 1995 Spring, <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/apjindex.html>;
- [12] Bolgár Judit, Krajnc Zoltán: The asymmetric warfare and its psychological factors, EKONOMIKA A SPOLOCNOST-JOURNAL OF ECONOMICS AND SOCIAL RESEARCH 2010: (2) pp. 1-6.;

Horváth Ádám<sup>1</sup> – Tóth Vilmos<sup>2</sup> – Beneda Károly Tamás<sup>3</sup>

## A TKT-1 GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰ TÜZELŐANYAG- ÉS SZABÁLYOZÓRENDSZERÉNEK FEJLESZTÉSE<sup>4</sup>

*A BME Repülőgépek és Hajók Tanszék sugárhajtóműves próbapadja, a TKT-1 gázturbinával immár negyedik éve áll az oktatás és kutatás szolgálatában. Ez idő alatt a hagyományos képzés egyetemi, illetve az azóta újtára indított BSc/MSc képzés hallgatói közül tucatnyian ismerhették meg a gázturbinás hajtóművek üzemének részleteit ezen berendezés segítségével. Közülük többen tudományos diákköri munkájuk, vagy éppenséggel diplomatervük illetve szakdolgozatuk témájául választották a folyamatos továbbfejlesztések egy-egy kiragadott részletét. Az elmúlt időszak egyik legjelentősebb előrelépése a teljes hatáskörű, digitális szabályozórendszer (Full Authority Digital Electronic Control, FADEC) tervezésének megindítása volt. Ennek első lépcsőfokaként egy egyszerű elektronikus szabályozó egységet alkottunk meg, illetve ennek egyik kapcsolódó feladata volt a rádió távirányítású változat megvalósítása is. Az így kialakított rendszer működési tapasztalatainak nyomán kezdődhetett el a tényleges, moduláris kialakítású FADEC létrehozása. A megújuló szabályozáshoz szorosan kötődik a tüzelőanyag-rendszer is. Itt a kezdetektől fogva tapasztalható korlátok miatt volt szükséges teljesen új alapokra helyezni a segédberendezések meghajtását. Megterveztünk egy kihajtást, mely a szivattyúk eddig alkalmazott elektromos meghajtását lesz hivatott felváltani. Ez azonban a jelenleg alkalmazott tüzelőanyag-szivattyú mélyreható vizsgálatát tette szükségessé, melyet az erre a célra kifejlesztett próbapad segítségével lehetett végrehajtani. Jelen cikk célja, hogy bemutassa mindazt a tervező tevékenységet, mely a szabályozórendszer illetve a kihajtás létrehozásához szükséges volt.*

### DEVELOPMENT OF FUEL AND CONTROL SYSTEM OF TKT-1 TURBOJET ENGINE

*The turbojet engine test bed TKT-1 has already been for four years in service at the Department of Aircraft and Ships of BUTE for research and teaching purposes. Since this time dozens of BSc and MSc students had the opportunity to familiarize oneself with the operation of gas turbine engines using this equipment. Many of them have chosen actual phases of the continuous development for scientific research or diploma thesis. The most important advance of the recent years is the design of a Full Authority Digital Electronic Control (FADEC). As the first step in constructing such a system we have created a simple electronic control unit and the subsequent development contained the realization of the radio controlled version. On the experiments of the achieved system could we start the effective work on the implementation of a modular FADEC. The renewal of the control system of the gas turbine has involved also the interconnected fuel supply system, where the originally given limitations necessitate a complete redesign. We have developed a gearbox that is responsible for providing drive for the supply pumps instead of the original electric drive. Thus the used fuel pump unit has been under deep investigation with the help of the test bench developed especially for this purpose. The goal of the present paper is to introduce the design and development activity that has been indispensable for the improvement of the control system and gearbox.*

<sup>1</sup> repülőgépész hallgató, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, adam1h@t-online.hu

<sup>2</sup> repülőgépész hallgató, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, vilgoci@citromail.hu

<sup>3</sup> egyetemi tanársegéd, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, beneda@rht.bme.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu



A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű a BME Repülőgépek és Hajók Tanszékén többéves előkészítést követően 2007. december 5-én került beindításra, s az eltelt bő négy év során 148 indítási kísérletből 94 alkalommal sikerült üzemmódra kifuttatva méréseket végrehajtani. A Gázturbinák mérés technikája c. szabadon választható tantárgy pedig már harmadik éve képezi a Tanszék bőséges választékának részét, melynek keretében is megismerkedhetnek a hallgatók a berendezés üzemével. Ezen felül sok érdeklődő hallgató tudományos diákköri munka, valamint diploma, illetve szakdolgozat témája kapcsolódott szorosan a sugárhajtóműves próbapadhoz.

Mindezek során számos tapasztalat gyűlt össze a gázturbina üzemével kapcsolatosan, és 2009 óta világos volt, hogy a továbbfejlesztéseket nem az addig megkezdett úton továbbhaladva kell végezni, hiszen ebben az esetben nagy ráfordítással is csak minimális előrelépéseket lehetett volna elérni. Így született a döntés, hogy az addigiaktól merőben eltérő, az időközben felmerült igényeket nem kompromisszumok árán, részben megvalósító munkák, hanem azok a fejlesztési irányok kapnak támogatást, melyekkel hosszú távon a próbapad korszerűsége fenntartható illetve az általa nyújtott lehetőségek bővülnek.

Ennek tükrében két fontos fejlesztési irányvonal került kijelölésre: az egyik az elektronikus szabályozás, a másik pedig a gázturbina konstrukciójának bővítése a segédberendezések meghajtásával. Jelen cikk célja, hogy az elmúlt időszak fent említett területeken elért eredményeit bemutassa.

## AZ ELEKTRONIKUS SZABÁLYOZÓRENDSZER FEJLESZTÉSE

### **A szabályozás szükségessége és megvalósítási lehetőségei**

A gázturbinás sugárhajtóművek szabályozása már a legkorábbi konstrukciók tekintetében is döntő kérdés volt. Az anyag- és mechanikai energia megmaradási törvények felírásával és átrendezésével belátható, hogy bármely gázturbinás sugárhajtómű részegységeinek együttműködését eggyel több független változó írja le, mint amennyi megmaradási összefüggés rájuk alkalmazható. Ebből következik, hogy a gázturbina üzemeltetése feltétlenül igényli egy további egyenlet alkalmazását, mely a szabályozási törvényszerűség, mely leggyakrabban a hajtómű valamely forgórészének állandó fordulatszámának, vagy pedig a hajtómű nyomásviszony (EPR<sup>5</sup>) adott értéken tartását jelenti.

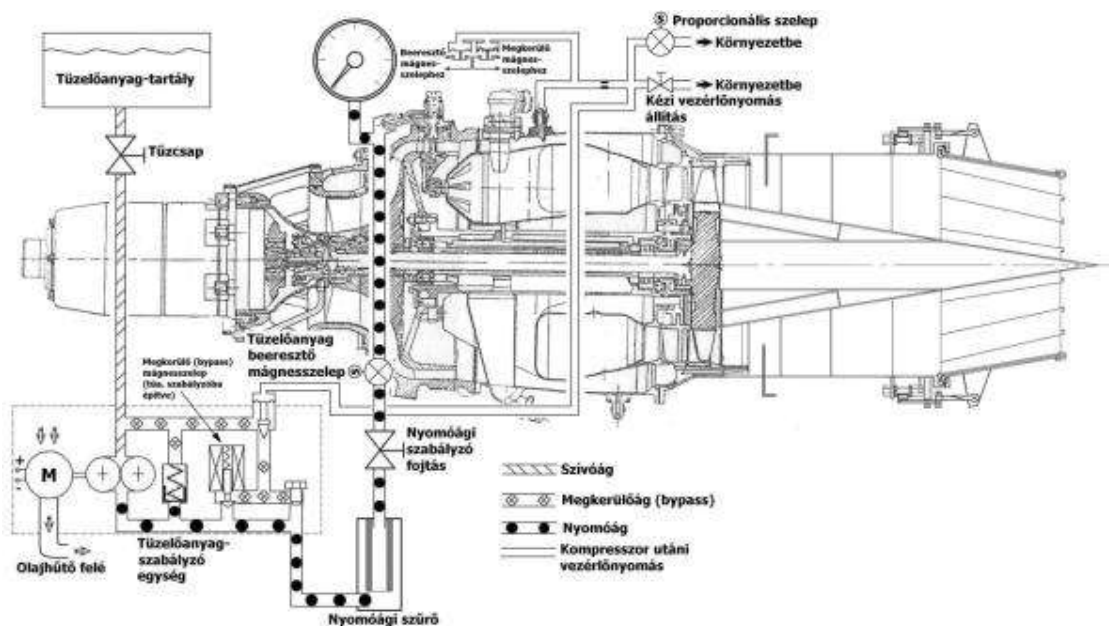
A szabályozás tekintetében – kísérleti jellegéből adódóan – a TKT-1 sugárhajtómű eltér a széles körben elterjedt megoldásoktól. Bár a gázturbina rendelkezik egy csak szűkülő (konfúzoros) változtatható gázkiáramlás-sebességfokozó (GSF) redőnyzettel, azaz a fűvócső kilépő keresztmetszete módosítható, ez a körülmény egy repülőgépen alkalmazott gázturbinánál kétparaméteres szabályozást tenne szükségessé, ahol az egyik beavatkozási lehetőség az égéstérbe betáplált tüzelőanyag-mennyiség, míg a másik a GSF keresztmetszet. Azonban a kísérletek során a gázturbina széles üzemmód-tartományának megismerése a cél, így a GSF kézi vezérlés alatt áll, így a szabályozó rendszer egyparaméteresként lett kialakítva.

---

<sup>5</sup> EPR: Engine Pressure Ratio, a fűvócső előtti és a kompresszor előtti torlóponyi nyomások aránya, közelítőleg a fűvócső nyomásviszonyával arányos, így a tolóerővel is

## Az első kísérletek

A 2010/2011. tanév tavaszi félévében kezdődött el a TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű elektronikus szabályozórendszerének fejlesztése, egy diplomaterv keretében. Ennek keretében adott volt a régi kézi vezérlésben alkalmazott, kezelőpulton elhelyezett, lineáris potenciométeres gázkar. Az eredeti konfigurációval való kompatibilitás megőrzése különösen nagy gondot jelentett, tekintettel a szabályozás bonyolultságára, mely a közeljövő egyik sarkalatos továbbfejlesztési lépése lesz. A TKT-1 ugyanis a tüzelőanyag-mennyiséget jelen kiépítésben az át-eresztett (égéstérbe be nem jutó) tüzelőanyag mennyiségével (bypass) szabályozza, mégpedig egy pneumatikusan működtetett tűszeleppel, melynek vezérlőnyomását egy elektromos áramnyomás szeleppel lehet állítani (lásd 1. ábra). E funkció tehát ezidáig kézzel került megvalósításra, s ez jelentősen beszűkítette a hallgatói mérések lehetőségét, tekintettel arra, hogy csak kelendő tapasztalattal rendelkező személy végezhetette a hajtóművezést.

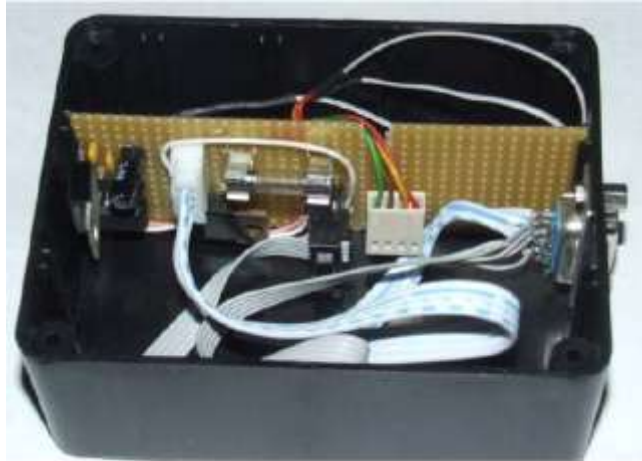


1. ábra A TKT-1 tüzelőanyag-rendszere

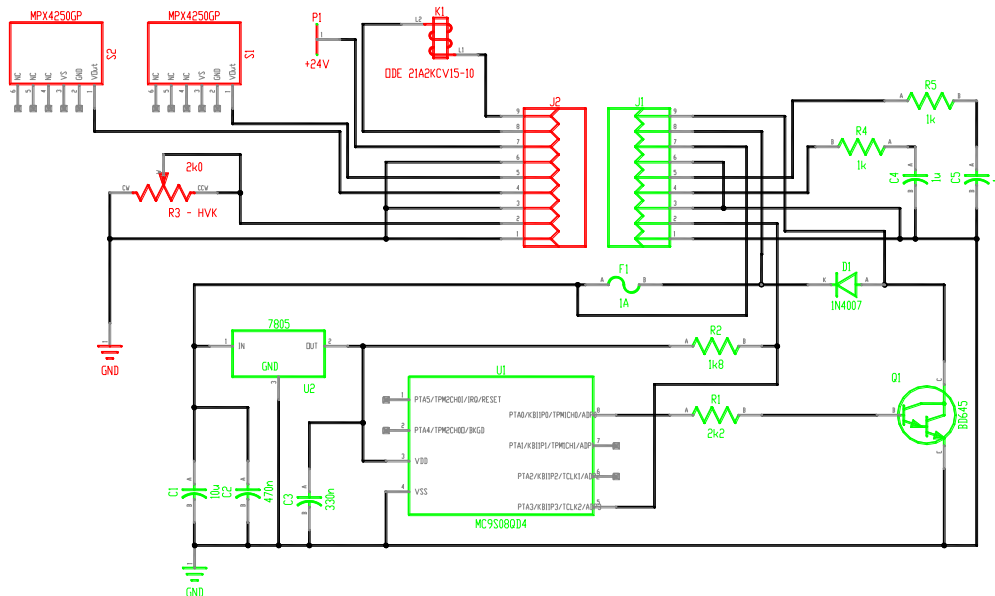
A mérések pontosítása, az üzemmódok stabilabbá tétele, és a hallgatók által is üzemeltethető berendezés igénye vezetett el odáig, hogy a 2008-ban elektronikus indító automatika után a szabályozó rendszer is újjászülessék.

Ezen törekvések eredményeképpen jött létre 2011 tavaszán az a verzió, mely a TKT-1-re optimalizált, egyszerű elektronikus szabályozást képviselte, mely egy diplomamunka keretében született [1]. Ehhez – tekintettel arra, hogy a berendezés, mint földi telepítésű gázturбина, nem üzemel tág környezeti nyomás- és hőmérséklettartományban –, a berendezésen sajnálatosan problémákkal küszködő fordulatszám helyett ideiglenesen a kompresszor utáni túlnyomást választottuk a szabályozott paraméternek. Mivel a gázturбина centrifugális kompresszora a jelenlegi kialakítású fűvocsővel csak szűk tömegáram-változást tud létrehozni adott fordulatszám mellett, ezért jó közelítéssel mondható, hogy egy adott nyomásviszony egy adott fordulatszám mellett lesz arányos, ebből fakadóan pedig – feltételezve a környezeti nyomás csekély változásait – a kompresszor utáni nyomás is jó közelítéssel arányos a fordulatszámmal. Így tehát egy olcsó és

jelillesztés tekintetében egyszerű, belső jelerősítéssel rendelkező piezorezisztív nyomásérzékelővel meg lehetett valósítani a szabályozó elektronikát (2. ábra és 3. ábra).



2. ábra A TKT-1 első elektronikus szabályozó rendszere, a „PELE”



3. ábra A „PELE” elvi kapcsolási vázlata

### A rádió távirányítású változat

2011 nyarán merült fel az igény modell repülőgépekben alkalmazott mikro gázturbinákhoz illeszthető szabályozórendszer fejlesztésére. Modellező boltokban ugyan kaphatóak ilyen rendeltetésű eszközök, azonban ezek ára igen magas. A TKT-1 PELE tapasztalatai alapján megállapítható volt, hogy egy egyszerű digitális szabályozó megalkotása még olyan többletfunkciókkal is kedvezőbb anyagi vonzattal rendelkezik, mint egy készen kapható példány megvásárolása, miközben olyan adatokat is képes szolgáltatni a gázturbina működéséről, amelyek tudományos vizsgálatok alapjait is jelenthetik. Ezen kívül az egység, lévén saját fejlesztés, szükség esetén nem csak a gázturbina, hanem a repülőeszköz üzemével kapcsolatos érzékelőket is magába foglalhat, vagyis egy kiterjedt és szerteágazó fedélzeti elektronikus egység létrehozása is elképzelhető a közeljövőben.

A modell repülőgépben történő alkalmazhatósága miatt szabványos RC modell vevővel való kommunikációra, soros vonalon számítógépes adatletöltésre, valamint belső memóriájában a

legfontosabb adatok eltárolására is képes eszközt szeretnénk megvalósítani. Az elsőként létrehozott áramkörben az utóbbi két funkció nem került még kivitelezésre, ezek a elkövetkező félévek továbbfejlesztései között szerepelnek.



4. ábra A rádió távirányítású változat és képernyőjén megjelenő információk

A követelményeket teljesítő eszközök közül a legfontosabb a mikrokontroller, mely egy Freescale (régebben Motorola) MC9S08QG8 típus, PDIP16<sup>6</sup> tokozásban, 8 kB FLASH programmemóriával, 512 B RAM-mal, 8 csatornás 10 bites SAR<sup>7</sup> analóg-digitális átalakítóval, 2 csatornás 16 bites PWM<sup>8</sup> modullal, SCI<sup>9</sup> (RS232 szabványú) és I<sup>2</sup>C<sup>10</sup> kommunikációs interfészekkel.

Kifejezetten a fejlesztést és a tesztek megkönnyítendő a mikrokontroller alapkiépítésben kapcsolatban áll egy 2x16 karakteres LCD<sup>11</sup> kijelzőt, melyen megjelennek az aktuális üzemmód információi, illetve négy nyomógomb segítségével beállítások végezhetőek el. Ezek funkcionalitása hasonlóan elven került megvalósításra a repülőgép-fedélzeti beviteli lehetőségeihez, vagyis a gomb lenyomásával a mellette megjelenő szöveg választható ki menüként, vagy mint jelzés, nyilak mutatják a gördítési lehetőségeket (lásd 4. ábra).

A fejlesztés során fontos volt, hogy konkrét gázturbina és távirányítós rendszer nélkül is lehessen a szabályozón munkálatokat végezni, illetve annak eredményét azonnal leellenőrizni, ehhez készült egy szintén saját fejlesztésű RC vevő szimulátor áramkör.

## A FADEC FEJLESZTÉSE

A teljes hatáskörű, digitális elektronikus szabályozórendszer gondolata szintén egyidős a TKT-1 sugárhajtóművel. A gázturbina üzembe állítása azonban még hosszú időn keresztül nehézségek elé állította a fejlesztőgárdát, ezért csak később indulhatott meg ennek a tervezése. Az is magától értetődő, hogy egy ilyen volumenű munka igen alapos felkészülést igényel, így tehát az [2]-ben leírtak még csupán az előtervezési fázis kezdeti lépéseit mutatták be, és természetesen kisebb részegységek fejlesztésével kezdődött az érdemi munka (lásd [3]). A fejlesztés jelenlegi állapotát a következőkben mutatjuk be.

<sup>6</sup> PDIP16: 16 lábú műanyag (Plastic) kétsoros (Dual In-line) IC tokozás (Package)

<sup>7</sup> SAR: Successive Approximation Register – Szukcesszív approximációs (analóg-digitális átalakító)

<sup>8</sup> PWM: Pulse Width Modulation – impulzusszélesség moduláció

<sup>9</sup> SCI: Serial Communication Interface – Soros kommunikációs interfész

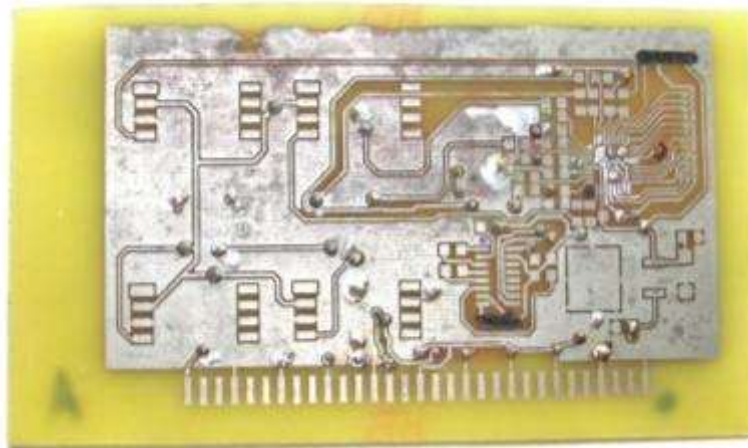
<sup>10</sup> I2C: Inter-Integrated Circuit – integrált áramkörök közötti (soros kommunikációs busz)

<sup>11</sup> LCD: Liquid Crystal Display – folyadékkrisztályos kijelző

## Teljes hatáskörű duplikált digitális szabályozórendszer felépítése

A szabályozórendszer moduláris felépítésű, egy alaplap megfelelő foglalataiban a következő modulok foglalnak helyet, melyek egymással a járműiparban széles körben elterjedt (így a repülésben is használt) CAN<sup>12</sup> buszon keresztül kommunikálnak:

- M250B nyomásérzékelő modul (a várható maximális kompresszor utáni torlóponti túlnyomás  $p_2^* = 250\text{kPa}$  alapján)
  - A modul feladata a gázturbina körfolyamattal kapcsolatos nyomások villamos jellé, feszültséggé konvertálása, majd a BITE-M<sup>13</sup> modul jelére CAN buszon a többi controller részére való továbbítása
  - Bemenetei a hajlékony csöveken érkező levegőnyomások, kimeneteit az élcsatlakozókon keresztül adja tovább a CAN buszra
  - A modul tartalmazza a saját tápellátását szolgáló integrált áramköröket is, az alaplapról érkező 24V egyenfeszültségből állítja elő a működéshez szükséges 5V és 3V egyenfeszültségeket
  - A modul diszkrét pillanatokban végez adatküldést illetve mintavétel, ennek ütemezését normál esetben a BITE-M modul végzi, melynek szerepét szükség esetén az AUTO modulok is át tudják venni
  - Az 5. ábrán a nyomásérzékelő modul B oldala látható, melyen néhány nyomásérzékelő, valamint a mikrokontroller és az RS232 IC számára kialakított helyek figyelhetők meg.



5. ábra A nyomásérzékelő modul

- M850B hőmérsékletérzékelő modul (a maximális számított turbina előtti torlóponti hőmérséklet  $T_3^* = 850^\circ\text{C}$  alapján)
  - Feladata a hőelemektől érkező jelek erősítése, digitalizálása, és a nyomásadatokkal együtt a CAN buszon történő továbbítása
  - Bemenetei a kártyán kialakított csatlakozókon keresztül a hőelemektől érkező mV nagyságrendű feszültségjelek, kimeneteit az élcsatlakozókon keresztül adja tovább a CAN buszra

<sup>12</sup> CAN: Controller Area Network – Mikrokontrollerek helyi hálózati protokollja (Bosch szabvány)

<sup>13</sup> BITE-M: Built-In Test Equipment – Manual, a szabályozórendszer önellenőrző és kézi vezérlést lehetővé tevő elektronikus egysége

- Szintén tartalmazza a saját tápellátását szolgáló integrált áramköröket, az alaplapról érkező 24V egyenfeszültségből állítja elő a működéséhez szükséges 5V egyenfeszültséget
- Diszkrét pillanatokban végez adatküldést illetve mintavételt, ennek ütemezését normál esetben a BITE-M modul végzi, melynek szerepét az M250B nyomásérzékelő modulhoz hasonlóan az AUTO modulok is át tudják venni
- BITE-M modul: A szabályozórendszer központi egysége, jelentős ütemező és önellenőrző funkciókat tölt be, ezen kívül kézi vezérlésre is lehetőséget ad szükség esetén. Pontosan ezen sokoldalúsága miatt a cikk egy későbbi részében részletesen foglalkozunk vele.
- AUTO modulok: Ezek végzik a tényleges szabályozási feladatot, fogadják, feldolgozzák és a BITE-M modul részére továbbítják a beérkező digitális adatokat (kapcsolóállások, stb.). Rendkívül fontos részét képezik a rendszernek ezért szerkezetileg teljesen azonos két modult használunk, arra az esetre, ha az egyik meghibásodna. Itt kell megemlíteni, hogy a jelenlegi Hasonlatosan a BITE-M modulhoz összetettségük miatt külön részben foglalkozunk velük.

A működés sorrendje, amint az a felsorolásból is kitűnik, szigorú szabályok szerint jön létre, melynek üzemelője a BITE-M modul. Ennek értelmében először a hőmérsékletjelek, majd ezután a nyomásjelek mintavételezésére és továbbítására kerül sor. Így tehát például az M250B modulnak meg kell várnia az M850B által küldött adatokat. Éppen ezért kialakításra kell kerüljön egy olyan szoftveres védelmi rendszer, amely biztosítani tudja, hogy az egyik modul hibája esetén a működés zavartalanul folytatódhasson tovább.

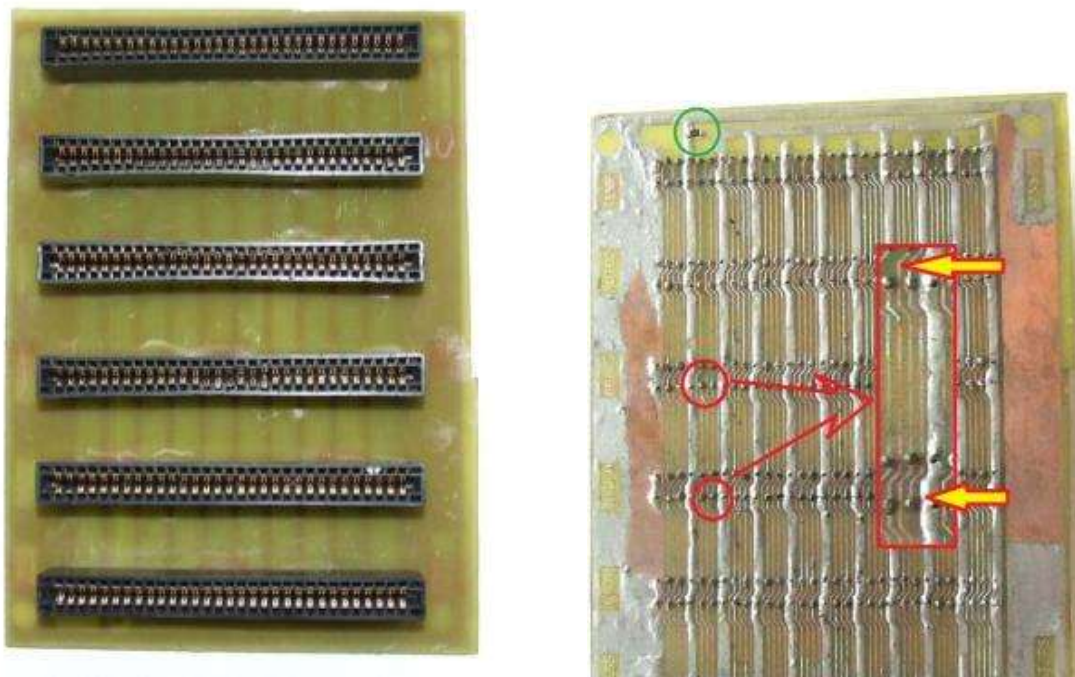
Ez úgy valósítható meg, hogy amennyiben például az M850B üzenete az előzőhöz képest 40ms időn belül nem érkezik meg, akkor ideiglenesen az őt követő M250B a késleltetés lejárta után továbbítja saját üzenetét. Normál működés esetén az M250B az M850B felől két beérkezett üzenet után küldené a sajátját, ennek alapján mikrokontrollerének vezérlőprogramja el tudja tárolni az aktuális állapotot, mely szerint kimaradt az adatküldés az őt megelőző egységtől. Elkülöníthetőnek kell tehát lennie a kétféle szituációnak, mely szerint az adatküldés azért történt, mert az előírt üzenet megérkezett, vagy pedig azért, mert nem. Az utóbbi nyilván valamiféle meghibásodásra utal, ekkor azonban az M250B modul az időkorlát leteltével folytatja a munkát, mintha minden rendben lenne.

A probléma lehet egy végleges meghibásodás is, de akár csak egy pillanatnyi probléma, amikor a modult vezérlő mikrokontroller valami rendellenesség okán alapállapotba hozza magát, de utána tudja folytatni a munkát. Ennek köszönhetően a rendszer nem fogja az első alkalommal hibásként megjelölni és a szabályzásból kizárni az üzenetküldést elmulasztó modult. Azonban ha ez a körülmény 25 cikluson keresztül – rendes működés és más hiba nélkül ez 1 másodpercet jelent – fennmarad, akkor a BITE-M modul kizárja a további működésből. Ez úgy történhet, hogy a hibás egység részére nem küld üzenetet, a többi számára pedig a küldött üzenetben kódolva továbbítja a hibára utaló információt. Ez később kerül bemutatásra az AUTO modulok leírásánál (3. táblázat).

## Az alaplap felépítése és működése

Az alaplap feladata az előbb említett modulok befogadása, és a köztük fennálló adatforgalom lebonyolítása. A felső oldalon kerültek elhelyezésre a 2x31 lábú foglalatok, ezekbe kerülnek behelyezésre a modulok illesztőkártya formájában, hogy az élcsatlakozóikon és az alaplap hátoldalán található vezetékezésen keresztül kapcsolatba léphessenek egymással (6. ábra bal oldala). Látható, hogy összesen hat darab foglalat helyezkedik el az alaplapon, az előzőek alapján viszont csak öt darab illesztőkártya kerül majd behelyezésre, ahogy ez az alaplap tú-loldalán egyértelműen feliratozva is van. A hatodik foglalat a SPARE jelzést kapta, jelenlétét biztonsági megfontolás indokolja: továbbfejlesztés esetén olyan többletfunkciókat ellátó kártya is integrálható legyen a rendszerbe, amely alkatrészei már nem lennének a meglévő egy-ségekre sűrítethetők, vagyis új modult igényel.

A hátoldalon található vezetékekezést megvizsgálva (6. ábra jobb oldala) észrevehető a külső szegélyen körbefutó földszáv, illetve a tápfeszültséget a modulokhoz eljuttató csatorna a bal oldalon. Ezen kívül látható, hogy a bonyolult vezetékekezés kapcsolatot biztosít az összes mo-dul megfelelő lábai között. Emiatt elméletileg a modulok bárhol elhelyezhetőek lettek volna. Van azonban egy kivétel, fent egy-egy vezetősáv a BITE-M modul környékén megszakad (pirossal kiemelve), illetve az alaplap két szélén látható egy-egy ellenállás (zölddel jelölve). Ez a felépítés biztosítja azt, hogy a rendszer feszültség alá helyezésekor és működés közben a BITE-M folyamatosan ellenőrizni tudja a szabályozó modulok üzemképes állapotát. Ha a rendszert bekapcsoljuk, és a szabályozó egységek jól működnek, az előbb említett két ellenál-láson (100 k $\Omega$ ) keresztül minimális áram indul meg a BITE-M modul felé, amely ezt érzékel-ve tudja, hogy a szabályzó modulok jól működnek. Amennyiben nem érzékel áramot valame-lyik modul felől, azt kiiktatja, és a szabályzási feladatot a jól működő modulnak adja át.



6. ábra Az alaplap elülső oldala a foglalatokkal és hátoldala a vezetékekezéssel

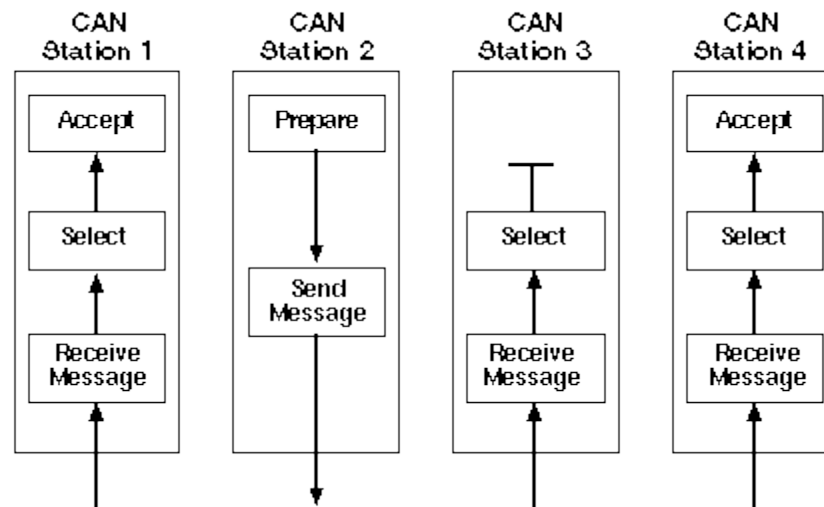
Az alaplap összeépítése során érdekes jelenséggel találtuk szemben magunkat. Látható, hogy a foglalatok lábai forrasztással kapcsolódnak az alaplaphoz, ezzel biztosítva egyben a rögzí-

tést és az elektromos jelek átvitelét. Továbbá megfigyelhető, hogy a vezetékek között a távolság rendkívül kicsi. Emiatt a 372 db forrasztás elkészülte után a szemmel is látható rövidzárat eltüntetve, még mindig több mA nagyságú áram folyt a vezetékek között, amelyek helyes működés esetén teljesen el vannak szigetelve egymástól. Alaposabb vizsgálat után kiderült, hogy a forrasztóanyag részét képező folyasztószer teremt kapcsolatot a vezetékek között, ennek elhelyezkedése azonban nem látható. A probléma megoldását az egész hátfelület aromás hígítóval való áttisztítása jelentette.

## A CAN-busz

Az előző részekben többször említésre került, hogy a modulok egymás közötti kommunikációjának alapját a CAN-protokoll képezi. A következőkben ennek rövid fejlődéstörténetét és működésének legfontosabb elemeit tárgyaljuk, felhasználva a [4]-ben és [5]-ben található, ide vonatkozó információkat.

Az autóiparban már a múlt század 90-es éveiben megjelent az igény bonyolult funkciókat ellátó rendszerek közötti adatcsere megvalósítására, elég, ha például a karburátor fojtószelepe és a gyorsítási csúszáságtló vezérlőeszközére gondolunk, illetve az ezek közötti szükségszerű kapcsolatra. Hagyományos rendszerekben az adatcsere dedikált vonalakon keresztül történt, de egyrészt, a vezérlési funkciók bonyolultabbá válásával ezt egyre nehezebb és drágább volt megvalósítani, másrészt az összeköttetések száma egy adott határon túl már nem volt növelhető. Ezen megoldás cseréje csak a rendszer elemeinek egy soros buszrendszert használó hálózatával lehetséges. Ezért fejlesztette ki a Bosch a CAN-t.



7. ábra A vett adatot vizsgáló rutin működése [4]

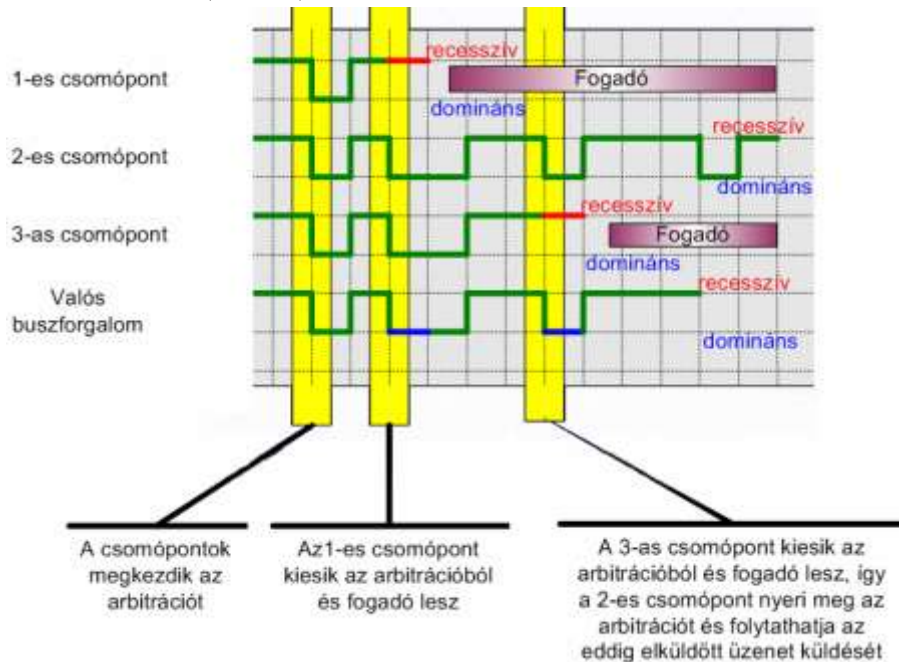
Mivel a rendszer elemei soros buszra csatlakoznak, és az adatátvitelkor nincs megcímzett állomás, ezért értesülnek minden kommunikációról, ami a buszon keresztül történik, még akkor is ha az adott elemet ez nem érinti. Az adatcsere a következőképpen történik: Ha egy adott állomás CPU<sup>14</sup>-ja egy vagy több állomásnak üzenetet akar küldeni, az átviendő adatokat és azonosítókat a hozzárendelt CAN chipnek továbbítja ("Make ready"). Ennyi a CPU összes feladata. Az üzenet összeállítása és elküldése a CAN chip feladata. Amint a CAN chip megszerzi a buszhozzáférés jogát ("Send Message"), az összes többi állomás veszi az üzenetét

<sup>14</sup> CPU: Central Processing Unit – számítógép központi feldolgozó egysége



("Receive Message"). A CAN hálózat minden állomása, mely helyesen vette az üzenetet, végrehajt egy elfogadási tesztet, hogy eldöntse, a vett adat neki szól-e ("Select"). Ha igen, feldolgozza ("Accept"), különben eldobja. A folyamat az alábbi ábrán látható.

Más a helyzet akkor, amikor az egyes elemek üzenetet próbálnak küldeni a buszon keresztül. Mivel ezen szándékukkal nincsenek egyedül, az ebből adódó ütközésekre megoldást kell találni. Az üzenet tartalmát a hálózaton belül egyedi azonosító jellemzi, amely ezen kívül az üzenet prioritását is meghatározza. Erre akkor van szükség, amikor több állomás verseng a buszhoz való hozzáférés jogáért. A CAN busz ezt bitenkénti versengéssel, idegen szóval arbitrációval küszöböli ki (8. ábra).



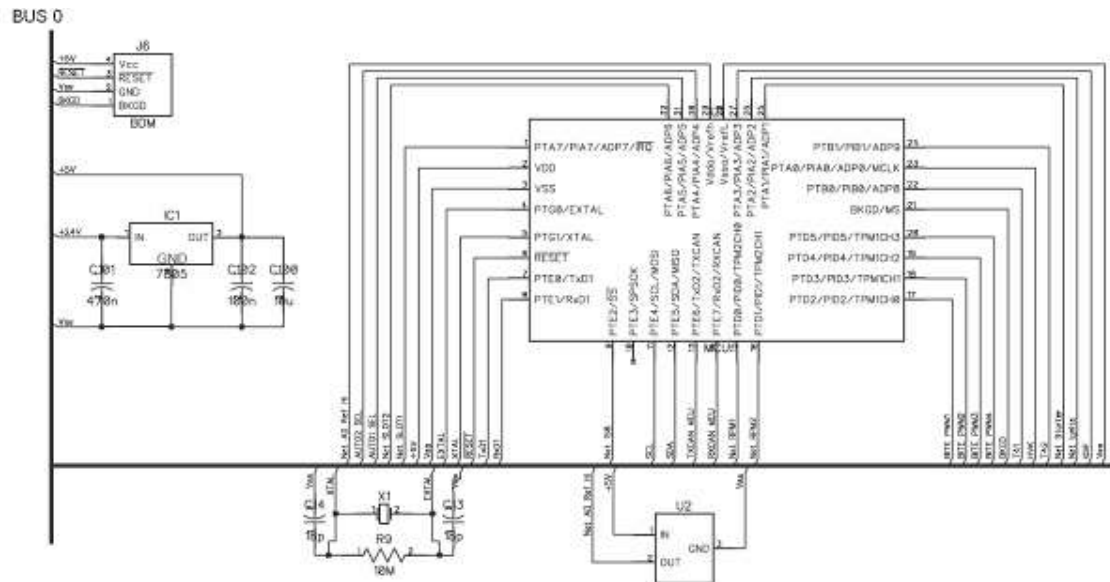
8. ábra: A bitenkénti arbitráció folyamata [5]

Ez azt jelenti, hogy minden csomópont bitről bitre figyeli a buszt. Az arbitráció szabályai a következők: A domináns szint a logikai 0, a recesszív szint a logikai 1, a domináns szint értelemszerűen felülírja a recesszív szintet. Ennek megfelelően az folyamat során minden olyan csomópont, amely recesszív bitet küld, de domináns bitet vesz a buszról, elveszti az versengést. Ennek következménye, hogy ezen csomópontok megszakítják saját üzenetük küldését, és fogadóivá válnak annak az üzenetnek, amelynek a legnagyobb volt a prioritása, és megnyerte az arbitrációt. A folyamat csak akkor indulhat el, ha a busz teljesen szabad, így a vesztes csomópontok megszakított üzeneteik újraküldését is csak ebben az esetben kezdenek meg. Ezen szabályok miatt a prioritásokat már jó előre, a rendszer tervezésekor meg kell határozni, mert ezután már nem lehet őket dinamikusan változtatni.

Röviden összefoglalva a CAN protokoll előnyeit a hagyományos rendszerhez képest, megállapíthatjuk, hogy elsősorban az állomásokra eső alacsony kapcsolati költség jelentős érv a használata mellett. Ezen kívül az adatátvitel megbízhatósága is többszöröse a régebbi megoldásénak, ez költségszinttől függetlenül mindenhol rendkívül fontos. Ahol tehát a költség kritikus tényező, ott kizárólagos létjogosultsága van a CAN protokollnak.

## A BITE-M modul

A fentebb említetteknek megfelelően külön alfejezetben foglalkozunk a BITE-M modullal. A rendszer működésének alapját képezi ez a modul, feladata a működés összefogása és ütemezése, az egyes komponensek megfelelő működésének ellenőrzése, valamint lehetőséget biztosít a kézi vezérlésre való áttérésre is.



9. ábra A fő mikrokontroller és tápellátó áramköreinek csatlakozásai

A BITE-M modul a következő egységekből épül fel:

- Alaplapi élcsatlakozó
  - Feladata, hogy az alaplap megfelelő foglatába behelyezve az alaplap hátoldalán található vezetékvezetés segítségével kapcsolatba lépjen a többi modullal, így képes legyen fogadni az általuk vett jeleket, illetve parancsjeleket továbbítani részükre.
- Az elsődleges mikrokontroller (9. ábra)
  - Ez az eszköz a BITE-M modul alapja, egy MC9S08DZ60 mikrokontroller, 8 bites architektúrájú 60kB Flash alapú programmemóriával és 2kB EEPROM<sup>15</sup>-mal rendelkező IC. Ezen kívül fel van szerelve integrált 12 bites SAR A/D átalakítóval, CAN kontrollerral és összesen 6 darab 16 bites időzítő csatornával, mindez 32 lábú LQFP<sup>16</sup> tokozásban
- A manuális kimeneteket engedélyező MC9S08QD4 típusú mikrokontroller (11. ábra)
  - Ez az eszköz valósítja meg a manuális üzemmódban aktív digitális és PWM kimenetek szükség szerinti leválasztását, a kapcsolási rajzokon U301 MAN OUTPUT CTL IC<sup>17</sup> néven szerepel
  - Három bemenetet felügyel, a két AUTO SEL<sup>18</sup> vonalat, illetve a BITE FAIL<sup>19</sup> vonal állapotát. Ezek alapján hozza létre egyetlen kimenete értékét, amely két

<sup>15</sup> EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, elektromosan törölhető programozható csak olvasható memória

<sup>16</sup> LQFP: Low profile Quad Flat Package, alacsony négyszögletű integrált áramkör tokozás

<sup>17</sup> MAN OUTPUT CTL IC: manual output control IC, kézi vezérlés kapcsoló áramköre

<sup>18</sup> AUTO SEL: Automatic Controller Select, az automatikus szabályozóegységet kiválasztó integrált áramkör

további IC-t vezérel. (10. és 11. ábra) Egyik az U302 AUTO/MAN PWM SELECT<sup>20</sup>, ehhez kapcsolódik egy tranzisztoros erősítő fokozat, a PWM OUT blokk, amely azért felel, hogy a bemenetére kapcsolt 5V-os PWM vezérlőjelet 24V-os jellé alakítsa. Az IC alapállapotban automatikus vezérlést valósít meg, azaz valamelyik AUTO modultól érkező PWM jelet továbbítja a tranzisztoros kimenő fokozatra. Kézi vezérlés esetén ugyanezt teszi, csak a BITE-M modultól érkező PWM jeleket használja fel.

- A mikrokontroller kimenete által vezérelt másik IC az U303 MAN DIG OUTPUT SEL<sup>21</sup> nevű elektronikus kapcsoló. Ennek feladata kézi vezérlés esetén bekapcsolni az U101 MAN DIG OUTPUT<sup>22</sup> nevű, I2C buszra illeszkedő port bővítő áramkört. Automatikus üzemmódban ugyanezen áramkör lekapcsolásával pedig garantálja, hogy az esetlegesen hibásan működő manuális üzemmód még véletlenül sem hagy a kimenetein téves és rossz működéshez vezető jel-szintet. Ezen biztonsági szempontból fontos működés megértéséhez vizsgáljuk meg a két IC felépítését.
- Az U302 AUTO/MAN PWM SELECT IC egy Texas Instruments TS5A5018 jelzésű, négy darab elektronikus SPDT<sup>23</sup> kapcsolót tartalmazó áramkör. Egy bemenetével egyszerre lehet mind a négy kapcsolót vezérelni. Magas jelszintet adva a bemenetre a COM<sup>24</sup> és a NO<sup>25</sup> érintkezőket lehet összekötni, alacsony jelszint esetén pedig a COM és a NC<sup>26</sup> érintkezők között van kapcsolat. Az áramkör rendelkezik engedélyező bemenettel, viszont ha valamilyen okból nincs engedélyező jel, akkor semelyik eszköz nem fogja tudni vezérelni a PWM kimeneteket. Mivel ez egy újabb hibalehetőség, ezt kiküszöbölendő, stabilan földre van húzva, így az áramkör minden körülmények között engedélyezésre kerül.
- Az U303 MAN DIG OUTPUT SEL nevű IC Texas Instruments TS5A3160 típusú, és egy darab SPDT kapcsolót tartalmaz. A vezérlő bemenetet magas jelszinttel megtáplálva a COM és NO érintkezők között van kapcsolat, alacsony jelszint esetén a COM és az NC lábak kerülnek összekötésre. Ellentétben az előző esettel itt nincs engedélyező bemenet, így az áramkör valamelyik irányban mindig vezet. Ezért valósítható meg viszonylag egyszerűen az U101 MAN DIG OUTPUT IC feszültség alá helyezése, illetve feszültségmentesítése.
- Az U303 MAN DIG OUTPUT SEL IC csak akkor kerül bekapcsolásra, ha a BITE-M modul kézi vezérlésű üzemmódra tér át, emiatt a fő mikrokontrollernek az IC vezérlő regisztereinek inicializálásáról gondoskodnia kell.

<sup>19</sup> BITE FAIL: Built-In Test Equipment Failed, a beépített önellenőrző egység meghibásodása

<sup>20</sup> AUTO/MAN PWM SELECT: Automatic/Manual Control PWM Output Selection IC, az automatikus szabályozók és kézi vezérlés PWM kimeneteit kiválasztó integrált áramkör

<sup>21</sup> MAN DIG OUTPUT SEL: Manual Digital Output Selection IC, a kézi vezérlés digitális kimeneteit engedélyező integrált áramkör

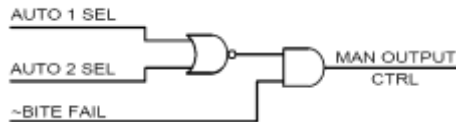
<sup>22</sup> MAN DIG OUTPUT: Manual Digital Output IC, a kézi vezérlés digitális kimeneteit vezérlő integrált áramkör

<sup>23</sup> SPDT: Single Pole Double Throw, egy pólusú, két érintkezős (kapcsoló, relé)

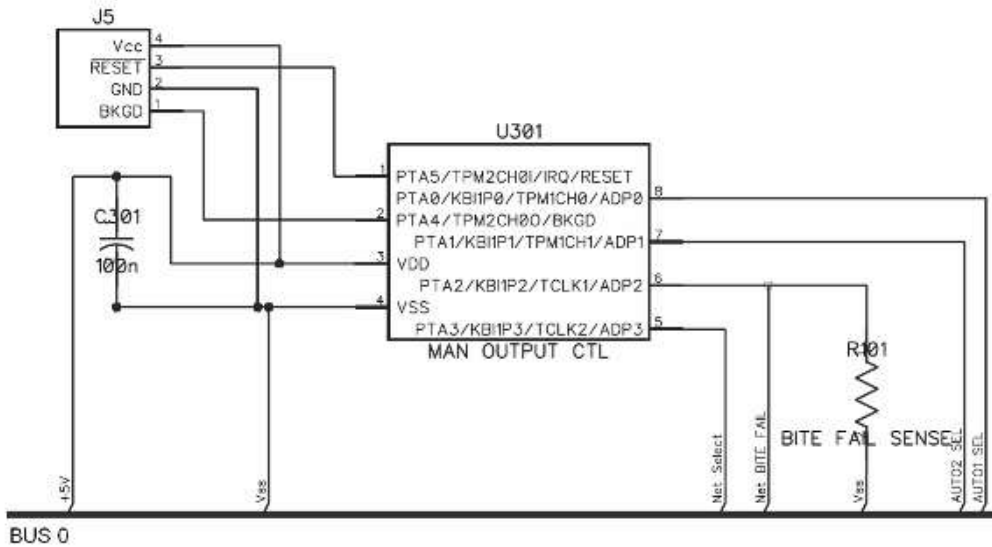
<sup>24</sup> COM: common, közös érintkező

<sup>25</sup> NO: normally open, alapállapotban nyitott érintkező

<sup>26</sup> NC: normally closed, alapállapotban zárt érintkező



10. ábra Az U301 jelű IC működésének elvi vázlatja

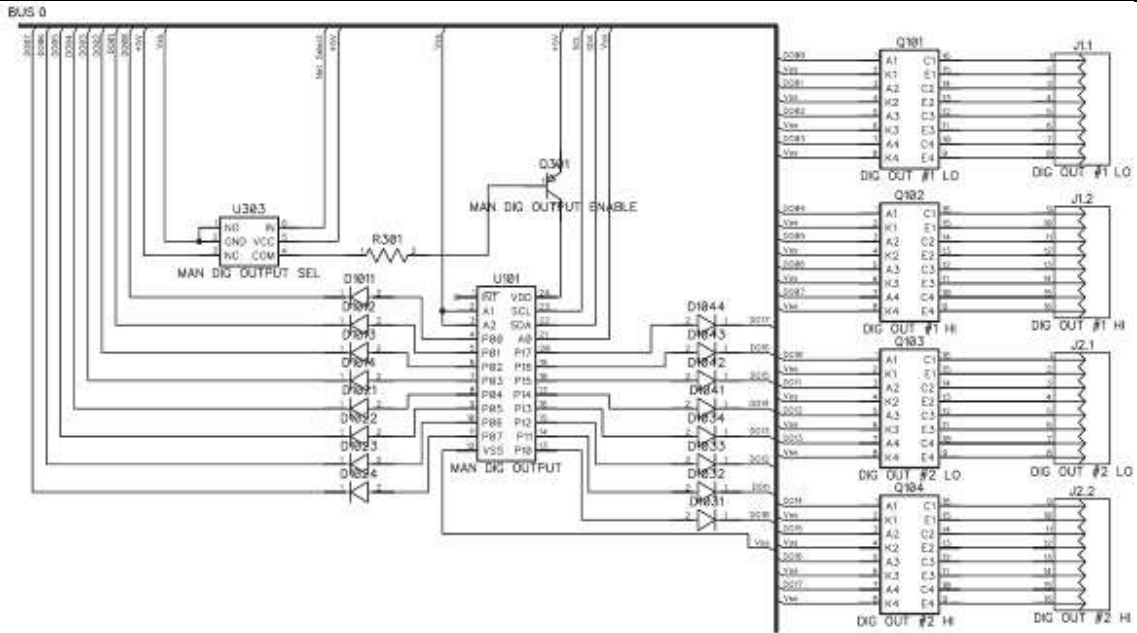


11. ábra A manuális kimeneteket engedélyező mikrokontroller kapcsolási rajza

Eset	~BITE FAIL	AUTO 1 SEL	AUTO 2 SEL	Kimenet	Megjegyzés
1	0	x	x	0	BITE hiba
2	1	0	0	1	Manuális mód
3	1	0	1	0	AUTO 2
4	1	1	0	0	AUTO 1
5	1	1	1	0	Illegális kombináció BITE hiba

1. táblázat Az U301 IC igazságtáblája

- Digitális kimenetek (12. ábra)
  - Feladatuk a külvilággal való digitális kapcsolat létrehozása. A digitális kimeneteket bármelyik modul vezérelheti, vészhelyzet esetén még a nyomásérzékelő illetve a hőmérsékletérzékelő modul is. Emiatt szükség van az egyes helyekről érkező jelek összeütkezésének elkerülésére, ez diódás védelemmel került megoldásra



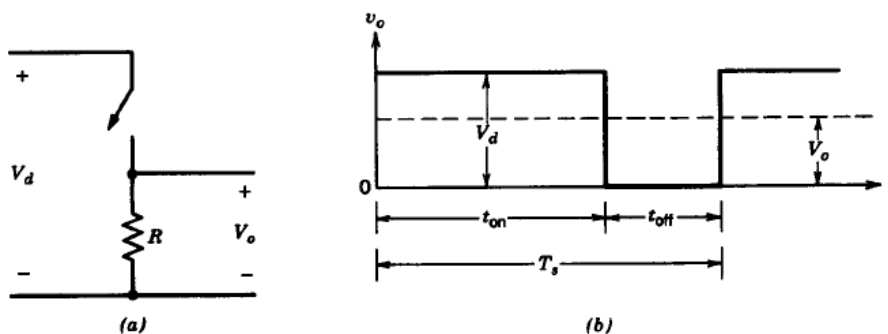
12. ábra A digitális kimenetek csatlakozásai

- PWM kimenetek (14. ábra)
  - Működési elv ([8] nyomán): A szabályozási feladatok kapcsán számos arányos funkció merül fel, melyek során egyenfeszültséget kell folyamatosan vagy fokozatosan kell szabályozni. Ezen analóg feszültségjelek helyettesíthetők digitális impulzussorozat jelekkel, amelyek hosszabb időtartamra vonatkoztatott átlagfeszültsége egyenértékű az analóg feszültségjellel. A digitális impulzussorozat egyébként állandó frekvenciáját úgy kell elegendően nagyra választani, hogy az a megfelelő működést biztosítsa, például egy motor fordulatszám ne ingadozzék. Ennek az egyik lehetséges megvalósítása a PWM, amelynél a szabályozás a jel kitöltési tényezőjének változtatásával történik, melyet az angol „duty factor” alapján  $d$  betűvel jelölhetünk, és a 13. ábra jelöléseinek megfelelően a  $t_{on}$  időtartam és a  $T_s$  periódusidőnek a hányadosa:

$$d = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (1)$$

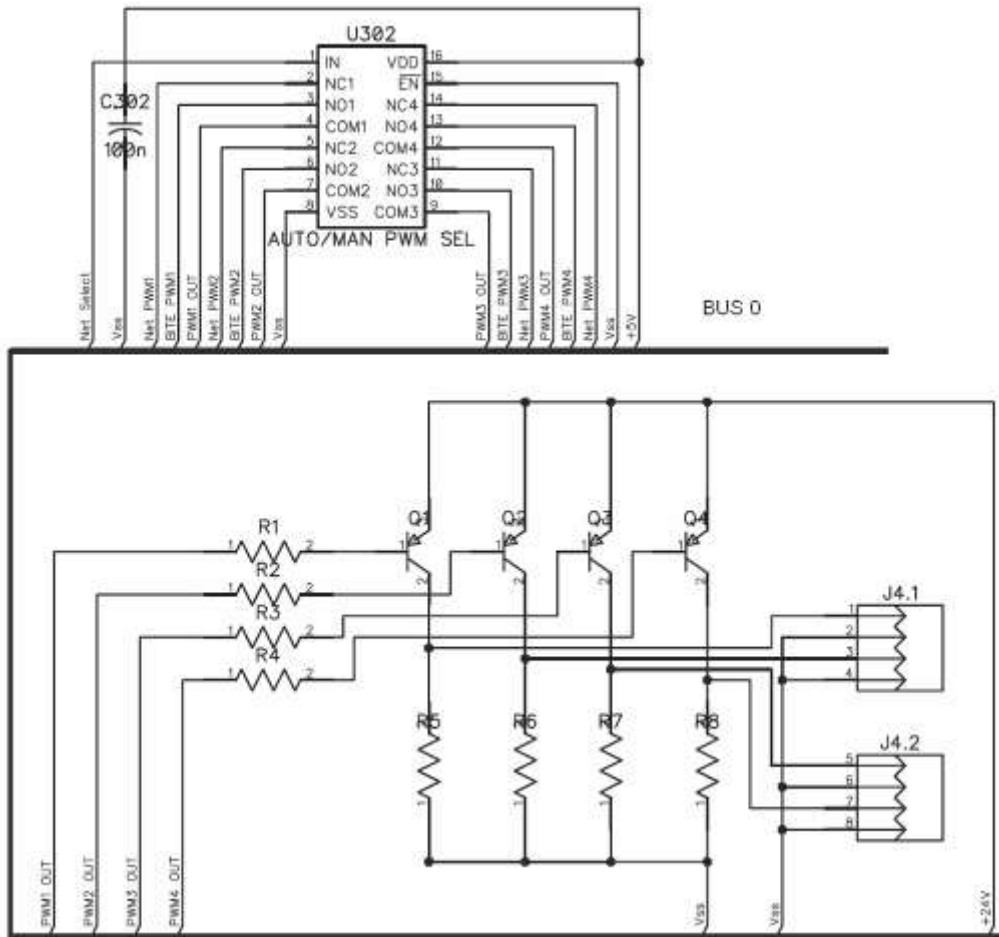
Így a kimenő feszültség ( $V_o$ ) a  $V_d$  tápfeszültség és a kitöltési tényező szorzata:

$$V_o = d \cdot V_d \quad (2)$$



13. ábra A PWM vezérlés működése ([8])

- A PWM kimeneteket a BITE-M modul tartalmazza fizikailag, de ugyanúgy, mint a digitális kimeneteket, a PWM kimeneteket is elérheti több modul, természetesen időben nem egyszerre. Azt, hogy épp melyik modul férjen hozzá a PWM kimenetekhez, az AUTO/MAN PWM SELECT IC dönti el



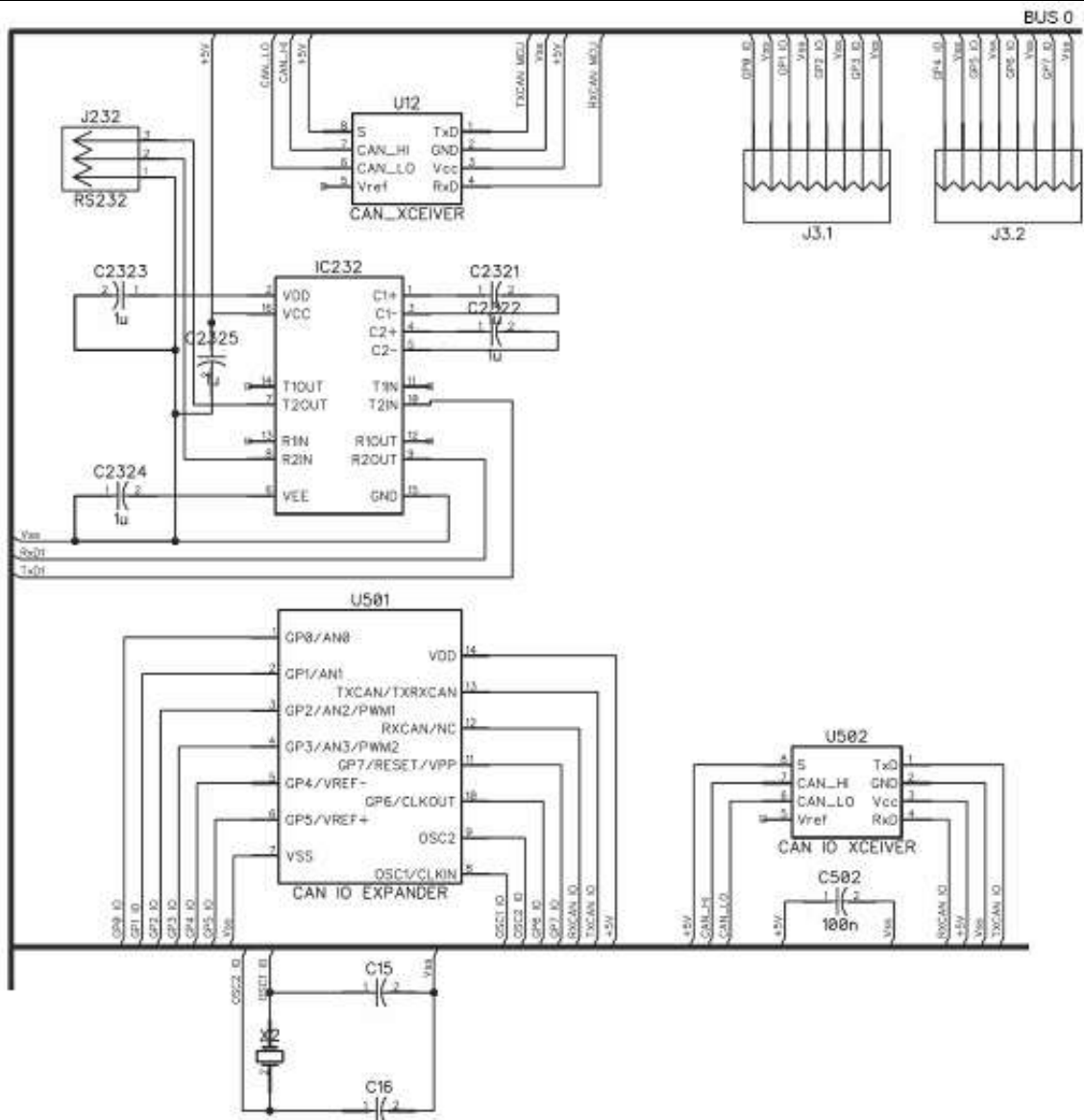
14. ábra A PWM blokk vázlata

- Kommunikációs feladatok (15. ábra)
  - Külső számítógéppel való kommunikáció illetve adatcsere megvalósítására szolgál egy RS232<sup>27</sup>-TTL<sup>28</sup> szabványú soros vonal. Ugyan normál működés esetén az AUTO modul feladata a soros vonali kommunikáció, annak meghibásodása esetén ezt a feladatot a BITE-M modul veszi át
  - A CAN buszon található még egy univerzális I/O<sup>29</sup> bővítő egység, amin keresztül bármelyik, a buszon jelen lévő IC képes vészhelyzet esetén a legfontosabb kimenetek vezérlésére
- Ezen kívül a CAN buszon keresztül vezérelt I/O vonalak továbbfejlesztése céljából elhelyezésre került egy CAN I/O EXPANDER<sup>30</sup> nevű IC, amely 8 digitális és 4 analóg I/O valamint 2 PWM outputot tartalmaz

<sup>27</sup> RS232: Recommended Standard 232, a soros kommunikáció egyik számítástechnikában széleskörűen elterjedt szabványa

<sup>28</sup> TTL: Tranzisztor-tranzisztor logika, a digitális integrált áramkörök elterjedt felépítése

<sup>29</sup> I/O: Input/Output, bemenet-kimenet



15. ábra A kommunikációs blokk vázlata

## Az AUTO modulok

Mint ahogyan korábban említésre került, az AUTO modulok hajtják végre magát a szabályozást, a BITE-M modul által kiadott és ütemezett parancsjelek alapján. A biztonság érdekében két, felépítésében teljesen azonos modult használ a rendszer, így a meghibásodás nem jár a teljes szabályzás azonnali elvesztésével. A két modul közül azonban egyszerre csak egy dolgozik, így szükségessé vált eldönteni, hogy a kettő közül melyik került az 1-es illetve 2-es foglalatba, hogy melyik működőképes, és egy adott alkalommal melyiket alkalmazzuk. Ezekre a kérdésekre az AUTO és a BITE-M modulok közösen adnak választ. A két AUTO controller az alaplapp két meghatározott foglalatába kerülhet. Az alaplappal foglalkozó fejezetben megemlítésre került a hátoldalon két vezetékszakas, amely ellentétben a többivel nem fut végig. Az egyik a SLOT1<sup>31</sup>, másik a SLOT2 jelet továbbítja az alaplapi buszhoz. Az alaplapi ellenállások segítségével az egyes foglalatban a SLOT1, a kettes foglalatban a SLOT2 vonal

<sup>30</sup> CAN I/O EXPANDER: CAN buszra illeszthető bemenet-kimenet bővítő integrált áramkör

<sup>31</sup> SLOTx: a két automatikus szabályozó áramkör részére fenntartott foglalatok elnevezése

van alacsony jelszintre lehúzva, míg az egyes foglalatban a SLOT2, a kettes foglalatban a SLOT1 vonal a kontroller áramkörön elhelyezett külső ellenállással kerül magas szintre. Ez a két kiválasztó vonal szolgál az AUTO modulok elhelyezésének megállapítására, mivel ezen jelszintek alapján egy egyszerű, külön erre a célra elhelyezett mikrokontroller az önteszt során megállapítja az egyes SLOT vonalak állapotát, és létrehoz egy kimenetet amely az egyik foglalat esetén alacsony (SLOT1) a másik foglalat esetén magas (SLOT2), így mindkét AUTO modul elhelyezése ismert. A kiválasztás igazságtábláját a 2. táblázat mutatja. Ezek után szintén a sikeres önellenőrzés befejezésekor az AUTO mikrokontrollerek magasra húzzák az eddig alacsony szinten lévő saját vonalaikat (SLOT1-nél a SLOT1 vonalat), és így már mindkét kiválasztó vonal magas, ez a BITE-M modul számára az AUTO kontroller működőképességét jelzi. A folyamatos üzemképességet és az esetleges hibák mihamarabbi felszínre jutását úgy biztosíthatjuk, hogy mindkét AUTO kontrollert a lehető legtöbbet üzemeltetjük. Ezt úgy érhetjük el, hogy alkalmanként felváltva végeztetjük el velük a szabályozási feladatot. Ehhez azonban tudni kell hogy egy adott alkalmat megelőzően éppen melyik működött. Ezt az információt mindkét AUTO kontroller saját memóriájában tárolja, és feszültség alá helyezéskor a BITE-M modul rendelkezésére bocsátja, amely így meg tudja állapítani, hogy az adott alkalommal éppen melyik modulnak kell működnie. Ha valamelyik kontroller olyan mértékben hibásodik meg, hogy az kizárja a további működtetés lehetőségét, akkor az AUTO mikrokontroller elengedi a magasra húzott kiválasztó vonalat, így jelzi a BITE-M modul részére a hibát. A folyamatot az U5051 SLOT SELECT MCU<sup>32</sup> vezérli, amely egy Freescale MC9S08QD4 mikrokontroller, feladatai közé tartozik egyebek mellett, az AUTO kontrollerek fő IC-i kimeneteinek engedélyezése a megfelelő bemenetek alapján.

Eset	SLOT1	SLOT2	RPM IN/OUT SEL	Megjegyzés
1	0	0	0	Nem definiált
2	0	1	0	AUTO 2 foglalatban
3	1	0	1	AUTO 1 foglalatban
4	1	1	0	Nem definiált

2. táblázat A kiválasztás igazságtáblája

## A szabályozás megvalósítása

Miután megismerkedtünk a rendszert felépítő modulok felépítésével, és a szabályozási feladatban betöltött szerepükkel, működésükkel, nézzük meg, mi is történik a szabályzás egy ciklusa alatt.

A BITE-M modul az automatikus illetve kézi vezérlés aktuális állapotától függetlenül másodpercenként 50-szer vezérli a rendszert az adatcserére és a szükséges szabályozások megtételére, így egy ciklus maximálisan 20 ms időtartam alatt be kell, hogy fejeződjön. A CAN busz sebessége a mikrokontrollerek 20MHz-es buszfrekvenciája következtében 950kbit/s. Egy üzenet, amely a CAN szabványban megengedett maximális 8 adatbájtot, azaz 64 adatbitet kihasználja és standard formátumú azonosítót alkalmaz, illetve tartalmazza az üzenet egyéb kötelező keretinformációit, összesen 111 bitből áll, ennyit kell a buszon továbbítani. 950kbit/s sebesség mellett 1ms alatt 950 bit továbbítódik, egy üzenet 111 bitje pedig 0,1168 ms alatt, így ennyi az egy üzenetre jutó idő. Mivel egy ciklusban összesen 9 üzenet található, így az

<sup>32</sup> SLOT SELECT MCU: Az automatikus szabályozó áramkör mikrokontrollere, mely meghatározza, hogy melyik foglalatba helyezték az egységet.



egy ciklusban a kommunikációra fordított idő legalább 1,05ms a rendelkezésre álló 20ms-ból, az üzenetek közötti feldolgozási időt nem számolva (ez az egyes modulok szoftverének kialakításától fog függni az elvégzendő feladaton kívül). A ciklus a következőképpen épül fel:

1. A BITE-M modul beolvassa az analóg és digitális parancsjeleket (gázkar pozíció, kapcsoló állások), és a CAN buszon keresztül elküldi az információkat. Ezeket az információkat a két automatikus kontroller eltárolja memóriájában későbbi felhasználásra.
2. Erre az üzenetre az AUTO1, majd ennek hatására az AUTO2 kontroller az általa mért fordulatszámok és digitális bemenetek (AUTO1: hőbiztosítékok állapota, AUTO2: komponensek megtáplálása) CAN buszra való elküldésével válaszol.
3. Ez az üzenet az M850 hőelem modulban aktiválja azt a rutint, amely a legfontosabb hőmérséklet értékeket ( $T_{4^*-1}$ ,  $T_{4^*-2}$ ,  $T_2^*$ ,  $T_{olaj}$ ) küldi el digitalizált formában, majd ennek hatására az M250-B modul küldi el a legfontosabb nyomásértékeket ( $p_2^*$ ,  $\Delta p_m$ ,  $p_{vez}$ ,  $p_0$ ) a CAN buszon keresztül.
4. Válaszként az előző üzenetre, az M850 modul két újabb üzenetben küldi el a kevésbé fontos hőmérsékleteket ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_{tűa924}$ ,  $T_{olaj924}$ ), majd ezt észlelve az M250 modul is küld két üzenetet a kevésbé fontos nyomásokról ( $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_4$ ,  $p_4^*$ ,  $\Delta p_4$ ,  $p_{scm}$ ). Ezek a szabályzás szempontjából nem kritikus információk, hiányuk nem igényli a gázturbina vészleállítását, azonban a számítógépes adatgyűjtő rendszer irányába a BITE-M modul nem tud jelzést küldeni az esetleges rendellenességekről. Idáig tartott az adatcserék folyamata. Láthattuk, hogy a BITE-M modul elsőként kiküldött üzenete volt egyedül olyan ebben a fázisban, amelyiket nem előzte meg egy másik üzenet. Az összes többi üzenetet az előtte lévő váltotta ki egyfajta időzítő jelként szolgálva. Ennek oka, hogy a CAN buszon keresztül minden modul kapcsolatban van az összes többivel, így minden modul értesül a környezetében folyó üzenetváltásokról, és az, hogy ez melyik modulból mit vált ki, már a szoftver kérdése. Ez a fázis nagyjából 1...2 ms időt vesz igénybe, ezután kerülhet sor a tényleges szabályozás megvalósítására.
5. A kapcsolók állásától illetve az egyes modulok működőképességétől függően alapvetően automatikus szabályozás, illetve kézi vezérlés jöhet szóba, mint irányítási mód. Amennyiben a következő feltételek egyike teljesül, a BITE-M modul automatikus szabályozást tesz lehetővé:
  - A szabályozók közül legalább egy működőképes. Ennek feltételei:
    - A kijelölt szabályozó (AUTO1 vagy AUTO2) nem érzékelt meghibásodást
    - A kijelölt szabályozó jelezte a meghibásodást, de a másik szabályozó még működőképes
  - Az üzemmód választó kapcsoló AUTOMATIKUS állásban van.
1. Amennyiben a következő feltételek egyike teljesül, a BITE-M modul kézi vezérlésre tér át:
  2. A szabályozók közül (AUTO1 vagy AUTO2) egyik sem működőképes,
  3. Az üzemmód választó kapcsoló automatikus állásban van
  4. A táblázatban növekvő sorrendben kerültek feltüntetésre a CAN busz üzenetei (3. táblázat). Ezen sorrend oka a korábban már részletezett, CAN szabvány szerinti, kontrolerek közti versengésben keresendő. A versenyt a busz használatáért ugyanis az a vezérlő nyeri, amelyik előbb küld egy domináns jelszintű bitet, amely a CAN busz speci-

fikációja szerint a 0. Az egyes vezérlők egyes üzeneteihez társított CAN azonosító gondos megtervezésével biztosítható, hogy a fontosabb üzeneteknek elsőbbsége legyen a kevésbé fontos üzenetekkel szemben. Ha a táblázatot összehasonlítjuk a fejezet elején taglalt adatgyűjtés fázis lépéseivel, azt tapasztaljuk, hogy az ott a lista elején szereplő magas prioritású üzenet CAN azonosítója a táblázat elején helyezkedik el, így biztosítható az előre megtervezett sorrendiség a gyakorlatban.

CAN azonosító		Üzenet küldője	Üzenet tartalma	Üzenet vevője
Hexa	Bináris			
0x02x 0x03x	0 0 0 0 0 1 x x x x x	BITE-M	Analóg és digitális parancsjelek	Mindenki
0x04x 0x05x	0 0 0 0 1 0 x x x x x	AUTO #1	Fordulatszám 1 és hőbiztosítók állapota	AUTO #2 és BITE-M
0x06x 0x07x	0 0 0 0 1 1 x x x x x	AUTO #2	Fordulatszám 2 és komponensek tápfeszültsége	AUTO #1 és BITE-M
0x08x 0x09x	0 0 0 1 0 0 x x x x x	M850	Legfontosabb hőmérsékletek	AUTO #1 #2 és BITE-M
0x0Ax 0x0Bx	0 0 0 1 0 1 x x x x x	M250	Legfontosabb nyomások	AUTO #1 #2 és BITE-M
0x78x 0x79x	1 1 1 1 0 0 x x x x x	M850	$T_1, T_{olaj}, T_{tűa924}, T_{olaj924}$	AUTO #1 #2 és BITE-M
0x7Ax 0x7Bx	1 1 1 1 0 1 x x x x x	M850	Egyéb hőmérsékletek	AUTO #1 #2 és BITE-M
0x7Cx 0x7Dx	1 1 1 1 1 0 x x x x x	M250	$P_1, P_2, P_4, P_4^*$	AUTO #1 #2 és BITE-M
0x7Ex 0x7Fx	1 1 1 1 1 1 x x x x x	M250	Egyéb nyomások	AUTO #1 #2 és BITE-M

3. táblázat A CAN busz üzenetei

A táblázatban észrevehetjük, hogy a bináris CAN azonosító az utolsó 5 bitet bizonytalan állapotban mutatja. Erre egy adott egység működőképességének ellenőrzése céljából van szükség. Az utolsó 5 bit mindegyike egy modulnak felel meg: amennyiben működőképes, akkor a CAN üzenetben a megfelelő bithelyen 0, ellenkező esetben 1 szerepel, így jelzi a rendszer a többi modulnak, hogy melyik hibásodott meg (lásd 4. táblázat). Kieértékkelni és felhasználni az üzenetnek ezt a részét csak a BITE-M modul fogja, ugyanis az ő feladata eldönteni, hogy egy egység működőképes-e vagy nem. Ennek ellenére mégis eljut az összes modulhoz ez az információ. Erre azért van szükség, mert a BITE-M modulnak is adódhat olyan hibája, amely miatt nem képes az egyéb eszközök meghibásodását a külvilág felé jelezni. Erre az esetre az AUTO modulok vezérlő programja fog tartalmazni olyan részt, amely kideríti a BITE-M meghibásodását és átkonfigurálja a rendszert a BITE-M nélküli üzemre. Ilyenkor nyilvánvalóan más modultól fogja megtudni a rendszer, hogy egy controller meghibásodott, tehát az információra minden modulnak szüksége van.



Bit száma	Modul
0	BITE-M
1	AUTO #1
2	AUTO #2
3	M850
4	M250

4. táblázat A meghibásodás bitek megfeleltetése

## A KIHAJTÁS TERVEZÉSE

### Rendeltetés

A gázturbina körfolyamat termodinamikai szempontból vizsgálva csak az áramlási térre korlátozza a kérdéses objektumot. Ezt szokás az angol terminológia szerint ([6]) a „bare engine”, vagyis nyers hajtómű. Ahhoz, hogy ez a gépegység valóban működhessen és elláthassa feladatát, számos segédberendezésre van szükség. Szinte mindegyik gázturbinás berendezés, legyen az repülőgép hajtómű vagy földi egység, saját turbinájától származó tengelyteljesítménnyel valósítja meg ezt a feladatot. A kevés kivételek egyike a TSz-21 és a belőle kifejlesztett TKT-1, melyek elektromos meghajtással rendelkező szivattyúkat alkalmaznak. Ez már a fejlesztés kezdetén súlyos problémákat okozott, melyeket többé-kevésbé sikerült leküzdeni, bár sok olyan kérdés merült fel, melyekre csak kompromisszumos válasz született. Ezek olyan korlátokat jelentenek, melyek bár a rendeltetésszerű használatban nem akadályozzák a gázturbina működését, a további fejlesztéseknek azonban mindenképpen gátat szabnak. Így tehát előbb-utóbb mindenképpen bele kellett vágni abba a fejlesztésbe, mely már nem hordozza magán a kezdetekben kitűzött minimális konstrukciós változtatás követelményeit, és ezzel egy sokkal rugalmasabb, széleskörűen alkalmazható sugárhajtóművet fog eredményezni.

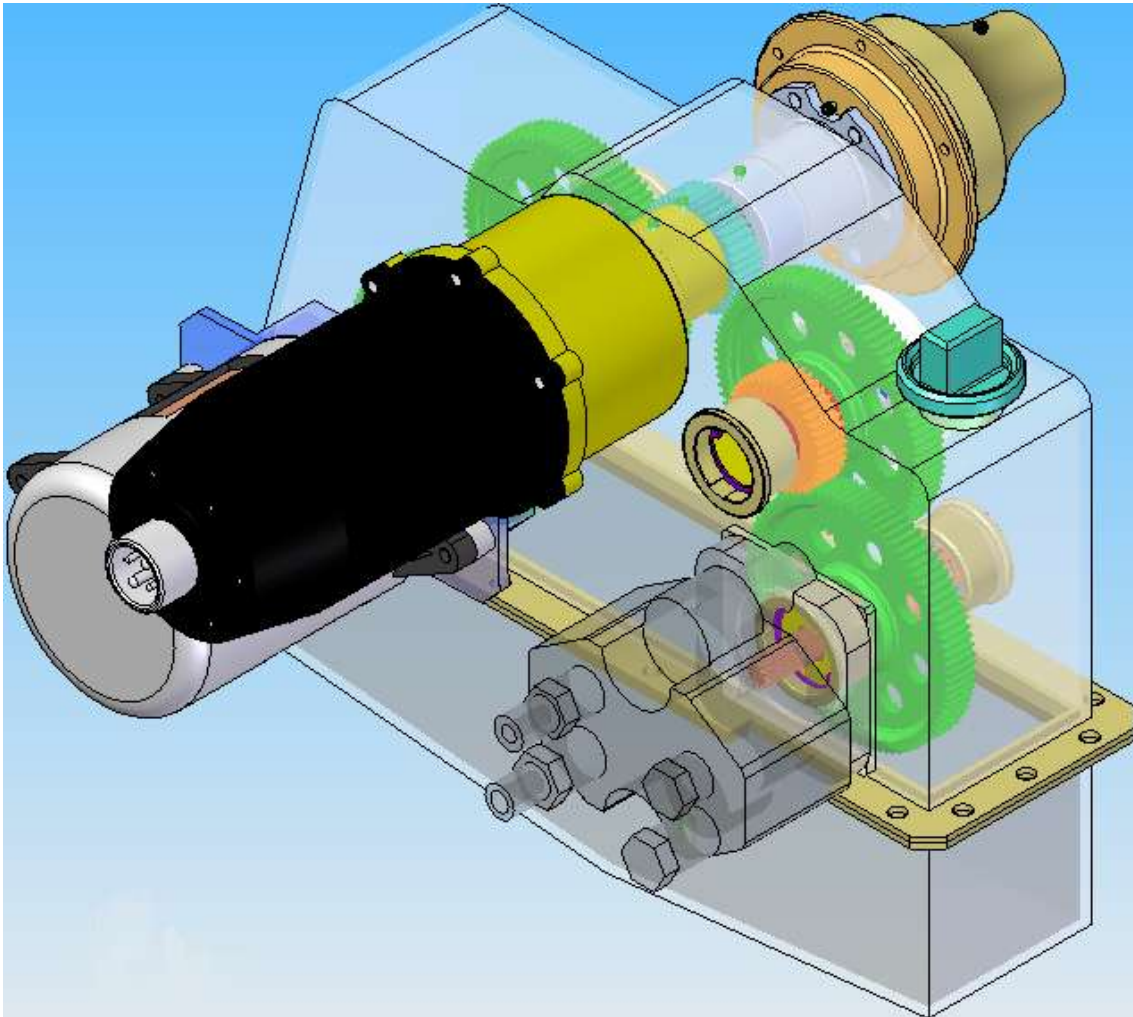
### A kihajtás ismertetése

A kihajtás tervezésekor két lehetőség merült fel, mint egymástól gyökeresen eltérő konstrukciók, és így már rögtön az első lépésként választani kellett, melyik kerüljön kidolgozásra. Az egyik lehetőség egy messzebbre tekintő gondolat eredménye, mely szerint a végleges cél a TKT-1 sugárhajtómű repülő eszközön történő alkalmazása, és mint ilyen, célszerűen axiális szívócsatornával kellene rendelkezzen. Ez azonban a tervezendő kihajtás irányába mutatott olyan messzemenő követelményeket, melyek rövidtávon nem tűntek arányosnak a befektetendő munkával. Így választottuk a második lehetőséget, mely a jelenlegi szívócsatorna elé illesztett kihajtásházzal számolt.

A kihajtás maga lényegében nem más, mint egy fogaskerekes hajtómű, mely az áttételei segítségével meghajtást biztosít a gázturbina segédberendezései számára. A TKT-1 kapcsán három segédberendezés jött szóba:

- a tüzelőanyag és olaj szivattyúegység, mely a 924-es berendezés elnevezést viseli,
- a villamos indítómotor
- és az elektromos fogyasztók megtáplálását célzó generátor, mely jelenlegi kialakításban még nem része a TKT-1 próbapadnak, lévén, hogy hálózatról nyerjük a szükséges elektromos energiát.

Megvizsgálva a lehetőségeket, melyek szivattyúk és generátorok tekintetében számításba jöhettek, kiderült, hogy célszerű lenne a feladatot a gázturbina eredetileg is használt 924-es szivattyúegységével megvalósítani, emellett pedig egy gépjárműiparban használt, 24V-os generátor beépítése volna megfelelő.



16. ábra A tervezett kihajtás axonometrikus nézete a segédberendezésekkel [9]

A kiválasztást követően meg kellett határozni az áttételi viszonyokat, melyeket a 924-es szivattyúegység, valamint a kiválasztott ISKRA generátor üzemi tartományának figyelembe vételével 5,05:1 arányra választottunk. A TKT-1 maximálisan megengedett fordulatszáma ugyanis 50500 fordulat percenként, így a két állandóan működő segédberendezés ebben az esetben éppen 10000-es fordulatszámmal működne. Emellett az is fontos szempont volt, hogy lehetőség szerint a generátor és a szivattyúk áttételei azonosak legyenek, így mind a tervezés, mind pedig a gyártás során csak egyféle fogaskerék pár szükséges, ezzel a gyártási költségek mérsékelhetőek valamelyest. A kihajtás részletes számítását egy repülőgépesz hallgató végezte el szakdolgozatának keretében ([9]), mely a fogaskerekek, csapágyak és tengelyek méretezésén kívül a teljes szerkezet térbeli elrendezésének megtervezését is magába foglalta, aminek eredményét mutatja a 16. ábra.

Az így megválasztott kimenő fordulatszám azonban az indításkori viszonyok tüzetesebb megismerését, illetve a tüzelőanyag rendszer átalakítását foglalja magában. Ebből a célból kifo-

lyólag került megvalósításra a 924-es szivattyú próbapadja [3], mely már az ott ismertetett elvek alapján felépülő tüzelőanyag elosztórendszert is ötvözi.

Az áttételeken keresztül történő meghajtása a 924-es berendezésnek azt is jelenti ugyanis, hogy a gázturbina indítási folyamata során, amikor a maximális fordulatszám kb. 15%-ánál a tüzelőanyag kezdeti betáplálása megindul, az előírások szerint a felugrási nyomásnak (lásd [7]) 6 és 12 bar közé kell esnie. A gyakorlat szerint a TKT-1 esetében a 6 bar nyomás megfelelőnek mutatkozik, ezt kellene tehát a jelentősen lecsökkent fordulatszám mellett is létrehoznia a tüzelőanyag szivattyúnak.

Ha megvizsgáljuk a fogaskerekes szivattyú működését, tapasztalhatjuk, hogy a létrehozott nyomás a szivattyú utáni ág ellennyomásától, fojtásától függ, miközben a szállított térfogat-áram – eltekintve a nyomás hatására változó résveszteségtől és egyéb kisebb mértékben módosuló tényezőktől – számottevően nem változik, jó közelítéssel állandó. Ha pedig a tüzelőanyag fúvókákra fókuszálunk, ezek lényegében nem mások, mint párhuzamosan kapcsolt fojtások, melyekre érvényes a jól ismert képlet:

$$\dot{m} = \alpha \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p} \quad (3)$$

ahol

- $\dot{m}$  a fojtásokon egységnyi idő alatt átáramló közeg mennyisége
- $\alpha$  a fojtórés átömlési (kontrakciós) tényezője
- $A$  a teljes geometriai keresztmetszet
- $\rho$  a közeg sűrűsége
- $\Delta p$  a fojtás két oldala között fennálló nyomáskülönbség

Levonható tehát a következtetés, hogy amennyiben a szivattyú mögötti átáramló keresztmetszetet megfelezzük, akkor az azonos viszonyok mellett létrehozott nyomásban közelítőleg négyszeres növekményre lehet számítani. Ez indokolja végső soron azt, hogy miért szükséges indítás közben csak két fúvókát alkalmazni. Ez azonban a 924-es berendezés mélyreható vizsgálatát teszi nélkülözhetetlenné.

### **A tüzelőanyag-olaj szivattyúegységet érintő vizsgálatok**

Ahogy a TKT-1 sugárhajtómű 2009 őszén a Tanszék oktatási munkáiba bekapcsolódott, és ennek következtében megemelkedett az üzemelések száma és hossza, érdekes anomáliákra derült fény, melyek a tüzelőanyag-ellátás rendszerét érintették. Ezek feltárása, valamint az előző pontban is részletezett fejlesztési igények miatt kezdtünk bele a 924-es tüzelőanyag-olaj szivattyúegység próbapadjának megépítésébe (lásd [3], 17. ábra). Az előzőekben említett céloknak megfelelő kialakítás hidraulikus vázlatát mutatja a 18. ábra.



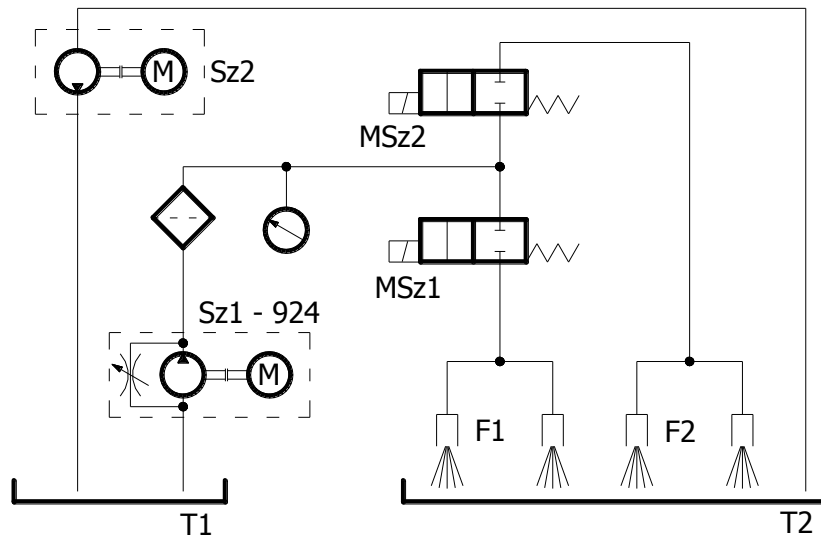
17. ábra A 924-es próbapad kezelőpultja és a vizsgált szivattyú

A próbapadnak tehát kettős célja van: egyrészt a TKT-1-en jelenleg alkalmazott konfigurációban képes kell legyen a berendezés vizsgálatára, másik oldalról viszont változtatható fordulatszámmal több fűvókacsoportot is biztosítani kell, hogy a kihajtás tervezett viszonyait is szimulálni lehessen.

A próbapad részletes leírása megtalálható a [3]-ben, melyhez képest számottevő változás az elmúlt időszakban mindössze a vezérlőnyomás ágában történt, ahol beépítésre került egy változtatható nyomásállandósító szelep, melynek segítségével a dugattyús légkompresszor kimenő nyomása korlátozható a berendezés biztonsága érdekében. A 924-es egység ugyanis, ahogyan a [7]-ben található kalibráló táblázat is tanúsítja, a maximális TSz-21 kompresszor utáni túlnyomás értékéhez (2,5bar) képest 3,0bar túlnyomásig kell tudja biztosítani a megfelelő működést, így tehát ekkora értékre korlátoztunk mi is.

Ahogy az az előző fejezetekben olvasható volt, 2011 során elkészült az első elektronikus szabályozó, a 924 működés közbeni ingadozásait ez képes kompenzálni, miközben természetesen tudatában vagyunk annak, hogy ez nem küszöböli ki a szivattyú hibáját, csupán olyan beavatkozást végez, mellyel ezen lengések csillapíthatóak. Jelenlegi vizsgálataink tehát a szivattyúegység változó fordulatszámmal történő üzemelésének részleteire fókuszálnak, ezen belül leginkább az indításkori kis fordulatszámmal történő működésre. Ahogy az az előző pontban megemlítésre került, a 924-es áttételezése a tervek szerint 5,05:1 lenne, ami a tüzelőanyag betáplálás kezdetén, a gázturbina forgórész névlegeshez képesti 15%-os fordulatszáma mellett 1500 percnkénti fordulatot jelent a 924-es behajtó tengelyén. Ezt az állapotot, mint legkisebb fordulatszámot kellett tehát ellenőriznünk, hogy a berendezés képes-e az előírt nyomásértékeket teljesíteni. Azonban ehhez szorosan hozzátartozott a fordulatszám mérése is, melyet a jelenlegi viszo-

nyok mellett egy kézi műszer alkalmazásával oldottunk meg, az EM660T villanymotor ([3], [7]) fedelének eltávolításával pedig hozzáfértünk a tengelycsonkhoz.



18. ábra A 924-es próbapad hidraulikus vázlat (3)

Ahogy az a hidraulikus vázlaton (18. ábra) látható, a várható kis fordulatszám-tartományban a megfelelő működés biztosítása érdekében ketté kellett bontani a TKT-1 eredeti elosztócsövet, és két párból álló fűvókacsoportot építettünk fel a 924-es próbapadra. Mivel jelenlegi vizsgálataink kifejezetten az indításkori üzemi viszonyok megismerését tűzte ki célul, az egyik páros le lett választva, és csak két fűvókával zajlottak a mérések.

A tényleges kísérletek előtt a teljes berendezés minden alrendszere még tüzelőanyag-feltöltés nélkül ki lett próbálva, hogy meggyőződjünk működőképességükről, és csak ezek után következhetek a tényleges feladatok.

Az első feltöltés során a berendezés rövid ideig az elvárásoknak megfelelően működött, rövid idő alatt a szivattyúhoz eljutott a folyadék, amit a körülményeknek megfelelő túlnyomással továbbított az általunk alkalmazott két fűvóka felé. Bár egy rövidzárlat miatt az elektromos tápellátásban hamar félbeszakadt a munka, annyi már bizonyosan látszott, hogy a várakozásainkkal ellentétben a szivattyú által létrehozott nyomás elmaradt a [7]-ben rögzített minimális 6 bar előírt értéktől. Az elektromos hiba miatt nem tudtuk ezt a mérést folytatni, így nem tudtunk egyúttal a 924-es állítócsavarjainak változtatásával módosítani az üzemi feltételeken.

Ezt a lehetőséget a villamos megtáplálás javítása után tudtuk csak kihasználni, amikor is több fordulatszámon próbálkoztunk, miközben az állítócsavarok minimális áteresztési keresztmetszetre történő becsavarása következett. A 924-es 1500 1/min fordulatszámon számunkra legkedvezőbb körülmények között is mindössze 3 bar nyomást képes előállítani, ami jelentősen kisebb a [7] által megadott tartomány alsó határához képest. Ennek okán még két fordulatszámot vizsgáltunk, melyekről az összesített adatokat az 5. táblázat mutatja, melyek az elért tüzelőanyag nyomások a fordulatszám függvényében a légkompresszor által biztosított vezérlőnyomás (atmoszférushoz képesti túlnyomás) mellett.



Fordulatszám [1/min]	Tüzelőanyag nyomás [bar] ( $p_K = 2,5\text{bar}$ )	Tüzelőanyag nyomás [bar] ( $p_K = 0\text{bar}$ )
1500	3	–
1800	4	–
2100	5	3

5. táblázat A mért tüzelőanyag-nyomás értékek

## A 924 próbapad kísérleteinek eredményei

A mérések során egyértelműen kiderült, hogy a kihajtásban eredetileg tervezett áttételi arány mellett a 924-es szivattyúegység nagyon kis tüzelőanyag-nyomást képes csak előállítani az indítás körülményei mellett. Ez nagy valószínűséggel igényelni fogja a későbbiekben a tervek pontosítását, az áttétel módosítását.

Azt azonban nem lehet ennyi kísérlet után kijelenteni, hogy az általunk mért nyomásokkal a gázturbina (bár az előírásoknál jóval alacsonyabb értékekről van szó) ne lenne képes beindulni. Ehhez azonban összetett vizsgálatokra van szükség, amely a 924-es próbapad és a TKT-1 egymáshoz való csatlakoztatását, a gázturbinának a próbapadi szivattyúval történő megtáplálásával volna megvalósítható. A közeljövőben tehát arra kell törekednünk, hogy az összekapcsolással a későbbi kihajtás viszonyai között működő szivattyú és a sugárhajtómű indításkori együttműködését feltárhassuk.

## ELÉRT EREDMÉNYEK, TOVÁBBI FEJLESZTÉSEK

Az elektronikus szabályozó rendszer folyamatos fejlesztés alatt áll. Mivel azonban a teljes hatáskörű szabályozás üzeméretté válása egy-két éven belül várható, a „PELE” rendszer további finomítása is fontos, melynek létrehozása során az első lépés a régi kézi vezérlésből örökölt toló potenciométeres gázkar kimenetének linearizálása volt. Ez a szoftverrészlet a jelenleg alkalmazott 4kB programmemória közel felét kitölti, mivel lebegőpontos számábrázolással került kivitelezésre. Megfontolandó, hogy a szabályozás rutinjaihoz hasonlóan fix-pontos műveletekkel kerüljön megvalósításra, avagy a régi kézi vezérlés lehetősége kerüljön felszámolásra, miközben kialakítunk egy olyan gázkart, mely lineáris potenciométerrel rendelkezik. Mindkettő megoldás közel azonos ráfordítást igényel, egyik szoftver, másik hardver oldalról, ezért az utóbbi létrehozása lenne célszerű, mivel a tapasztalatok alapján az eredeti kézi vezérlésre nem lesz szükség, illetve mechanikusan a jelenlegi konstrukcióban biztonsági szelepként alkalmazott eszköz mindig lehetővé teszi a kézi beavatkozást.

A távirányítóval rendelkező verzió is rendelkezik számos lehetőséggel, melyet igyekszünk kihasználni. A jelenleg beépített mikrokontroller helyett egy vele lábkiosztásban teljesen megegyező, de képességekben fejlettebb alkalmazása már a közeljövőben megvalósulhat, számottevően bővítve az eszköz által nyújtott szolgáltatásokat. Tervezés alatt áll egy olyan integrált fedélzeti számítógép, mely az aktuális gázturbina szabályozó kibővített változata volna, a repülés jellemző adatait is rögzíteni képes elektronika formájában, amivel modell repülőgépek mélyreható vizsgálata volna megvalósítható.

A 924-es próbapaddal kapcsolatban mindenképpen meg kell említeni, hogy a jelenleg alkalmazott fordulatszám állítási lehetőség (kézzel történő fázishasításos megoldás) messze nem alkalmas az állandó érték tartására. Ezért a továbbfejlesztési lehetőségek között elsőként egy olyan



elektronikus szabályozás megvalósítása volna célszerű, mely garantálni tudja a villanymotor és ezáltal a szivattyú állandó fordulatszámát olyan dinamikusan változó viszonyok mellett is, mint például a beeresztő mágnesszelep nyitása, amikor a zárt szelep -mellett felépülő nyomás hirtelen lecsökken, a szivattyú fordulatszáma pedig a kisebb terhelés miatt növekszik. Ezt kézzel lehetetlen volt kompenzálni, viszont egy elektronikus egységgel, mely fordulatonként akár többször is képes az aktuális körülmények megállapítására, kellőképpen gyorsan be tud avatkozni. A beavatkozás azonban mindenképpen teljesen új elven működő nagyáramú elektronikát is igényel, vagyis a jelenleg alkalmazott rendszer (triak) cseréjére lesz szükség (PWM-re).

Ha ezt a fordulatszám szabályozót létre tudjuk hozni, akkor következhet a TKT-1 megtáplálása a próbapadi szivattyúval, és állapíthatjuk meg, hogy a gázturbina vajon tolerálja-e a jelentősen megváltozott üzemi viszonyokat indítás során. Ha nem, akkor következhet a kihajtás áttételezésének módosítása.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton szeretnék kifejezni köszönetüket GÖZSE ISTVÁNNAK, aki a BME Közlekedésautomatika Tanszék PhD hallgatója, és az áramkörök tervezésében, kivitelezésében a hasznos tanácsoktól a megvalósításig felbecsülhetetlen segítséget nyújtott.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BALÁSHÁZY János: A TKT-1 mérő, adatgyűjtő és vezérlő rendszereinek fejlesztése. Diplomaterv. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek És Hajók Tanszék, 2011.
- [2] BENEDA Károly: Teljes hatáskörű digitális gázturbina szabályzás (FADEC) fejlesztése kisméretű sugárhajtóműves berendezéshez. Repüléstudományi Konferencia Szolnok, 2009 – 50 év hangsebesség felett a magyar légtérben. HU ISSN 1789-770X
- [3] BENEDA Károly: A TKT-1 sugárhajtómű fejlesztése és alkalmazása a BME repülőgépes képzésében. Repüléstudományi Konferencia Szolnok, 2010 – 60 éves a szolnoki repülőtisztképzés., HU ISSN 1789-770X
- [4] Controller Area Network. Magyarországi Terepbusz Tudásközpont – Tudásbázis, <http://fsz.bme.hu/traficc/can/can.html>
- [5] FODOR Attila, Dr. FODOR Dénes, Dr. BÍRÓ Károly, Dr. SZABÓ Loránd: A CAN mint ipari kommunikációs protokoll. International Conference on Power Systems and Electrical Engineering ENELKO 2006, Cluj (Romania), 2006, pp. 23-28. ISSN 1842-4546.
- [6] LINKE-DIESINGER, Andreas: Systems of Commercial Turbofan Engines. Springer, Berlin, 2008. ISBN 978-3-540-73618-9
- [7] A 924-es tüzelőanyag-olaj szivattyúegység formulárja: Насос Маслотопливный 924 – Паспорт 924ПГ r1987.
- [8] MOHAN, Ned, UNDELAND, Tore M., ROBBINS, William P.: Power Electronics – Converters, Applications, and Design. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 2003. ISBN 0-471-22693-9
- [9] RÁCZ Gábor: Kihajtástervezés. Szakdolgozat. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2011.



Dr. Jakab László<sup>1</sup>

## A ZMNE SZOLNOKI CAMPUSÁN 2005-2011 KÖZÖTT SZERVEZETT TŰZOLTÓ TANFOLYAMOK TAPASZTALATAI ÉS A TANFOLYAMOK JÖVŐJE<sup>2</sup>

*A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem szolnoki campusán 2005 évben kezdődött meg a repülőtéri tűzoltó katonák szakmai felkészítése a NATO és ICAO előírásoknak megfelelően. Először a „Repülőtéri speciális (szerződéses) tűzoltó tanfolyam”, majd a „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tanfolyam” – később a „Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyam”, végül 2009-től „A PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyam” indult. E kurzusokat a Légierő Parancsnokság (később Összhaderőnemi Parancsnokság) követelményei alapján szerveztük meg és tartottunk 2011 év végéig folyamatosan.*

### **EXPERIENCE AND FUTURE OF THE FIRE FIGHTING COURSES THAT WERE ORGANIZED IN SZOLNOK IN THE MIKLÓS ZRÍNYI NATIONAL DEFENCE UNIVERSITY DURING 2005-2011.**

*In 2005 a professional training began for airport's fire fighting soldiers in Szolnok at the campus of the Miklós Zrínyi National Defence University according to ICAO and NATO regulations. First the „Airport fire fighting specialist course” started, following the „Airport fire fighting basic course” and finally in 2009. the PRT fire-fighting course started. According to the requirements the course were organized by the Air Force Command (later Joint Forces Command). All the courses finished till the end of 2011.*

A katonai–szakmai ismeret kiegészítő, szervezetszerű tűzoltó tanfolyamok 2005-ben kezdődtek Szolnokon. Ebbe tartoztak a „Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyamok, a Repülőtéri szerződéses (speciális), és a repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamok”. Ide illeszkedett be 2009-ben az Összhaderőnemi Parancsnokság által megrendelt „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyam” is (1. ábra).

## A TANFOLYAMOK ELINDÍTÁSÁNAK SZÜKSÉGESSÉGE

A „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamok” megtervezésére, megszervezésére és végrehajtására azért volt szükség, mert:

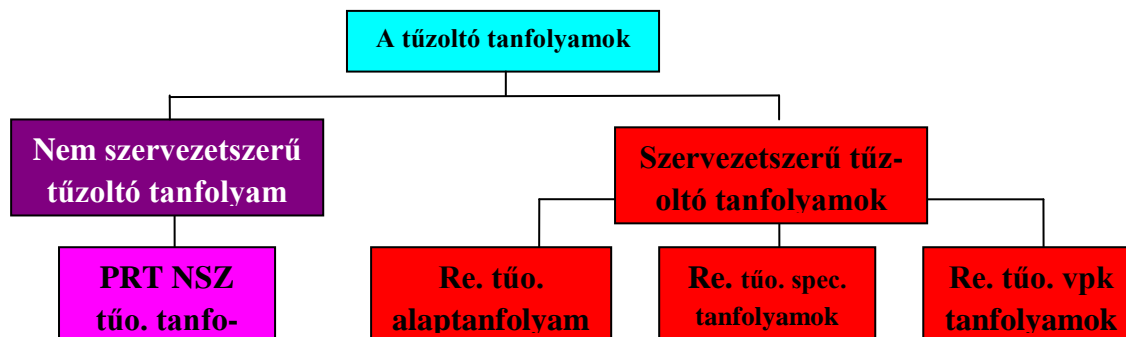
- egyrészt a tűzoltó beosztásban lévő állománynak vagy csak a Katasztrófavédelemlél szerzett, alapfokú tűzoltó tanfolyamai voltak, vagy csak a honvédség saját kiképzésén vett részt, amely alapvetően az osztályos fokozat megszerzésére készített fel. Ezek tananyagai nem tartalmazták a katonai repülőeszközök általános és típuspecifikus oltási és a mentési eljárásait;
- másrészt a folyamatos „Haderőreform” következtében sok – azelőtt nem tűzoltó beosztásban lévő - személy került tűzoltó beosztásba és nem volt semmiféle szakirányú végzettsége.

A „Repülőtéri szakasz(váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamok” megtervezésére és végrehajtására azért volt szükség, mert katonai légijárművek tüzeinek oltására (is) rendeltetett tűzoltó

<sup>1</sup> Phd. ny. alezredes

<sup>2</sup> Lektorálta: Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

szakaszok és a készenléti váltások vezetése speciális felkészítést igényel, Az ehhez szükséges speciális szakismeretek elsajátításának színhelyül célszerű a Magyar Honvédség repülőalakulatait választani, mivel csak itt biztosítottak az „oltás objektumai” a katonai repülőeszközök és a tűzoltó berendezések. Így ez, gyakorlatilag szakmai, parancsnoki tanfolyam.



1. ábra A tűzoltó tanfolyamok fajtái

A „Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyam”-ból csak 3 indult – azzal a hiánypótló céllal, hogy a semmilyen tűzoltó felkészítéssel nem rendelkezők, alapismereteket szerezzenek a későbbi, szerződéses tanfolyam elvégzéséhez.

A „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamok” megtervezésére, megszervezésére és végrehajtására azért volt szükség, mert a Magyar Honvédség Afganisztánban működő Tartományi Újjáépítő Csoportotja (PRT), független tűzoltó szervezettel nem rendelkezik, ezért a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnoksága (MH ÖHP) nem szervezetszerű tűzoltó alegység működtetését rendelte el. Az ebben résztvevő katonák az eredeti missziós beosztásuk ellátása mellett riasztás esetén tűzoltó feladatokat is képesek ellátni. Az ő felkészítésüket szükséges végrehajtani évente kétszer, 20-20 fővel. [1]

## A TANFOLYAMOK IGÉNYLÉSE, MEGTERVEZÉSE, MEGSZERVEZÉSE

A tanfolyamok megtervezése, megszervezése nagy körültekintést igényelt a megrendelő (Magyar Honvédség Légierő Parancsnokság /MH LP/, később Összhaderőnemi Parancsnokság /ÖHP/) és a végrehajtó (Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem /ZMNE/) részéről.

## A TANFOLYAMOK HELYE, OKTATÁSI FELTÉTELEK

A tanfolyamok mind a ZMNE Bolyai János Katonai Műszaki (majd Hadmérnöki, 2011 ősztől Hadtudományi) Kar Repülő Műszaki (később Repülő -, és Légvédelmi, majd 2011 ősztől a Katonai Üzemeltető-, és Logisztikai) Intézetében (2011-től a Katonai Repülő-, és Légvédelmi Tanszéken) Szolnokon kerültek végrehajtásra.

A tanfolyamokat a megrendelő parancsnokságok (LP, ÖHP), a Honvédelmi Minisztériumon (HM) keresztül a ZMNE-től igényelték. Ezeket - előzetes konzultációk alapján - az egyetem szolnoki campusán tervezték végrehajtani, mivel ehhez itt voltak a legjobbak a tárgyi feltételek. Azaz helyben, – valamint Kecskeméten és Pápán ahova egy oktatási nap keretében min-

den tanfolyam ellátogatott – az összes repülő-, és tűzoltó-technikai eszköz rendelkezésre állt. Magasan képzett, gazdag szakmai tapasztalattal rendelkező oktatói gárda volt az egyetemen és a parancsnokságokon 2005-ig, utána következő években többen nyugállományba kerültek, de mint külső oktatók továbbra is aktívan részt vettek a tűzoltó állomány felkészítésében. A „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamot” még a ZMNE BJKMK RMI Légi-erő Művelettámogatási tanszéke tervezte meg, de a „Haderőreform” következtében már a maradó 1 fő oktató a Repülőgép Sárkány-Hajtómű Tanszéken folytatta a tanfolyam megszervezését a helyi repülő bázis, Repülőműszaki Oktatásbiztosító Központ oktatóinak, valamint külső oktatók bevonásával (2006-tól már nyugdíjasként).

## A TANFOLYAMOK KÖVETELMÉNYEI

A tanfolyamok követelményeit a HM utasításai, a NATO szakirányú STANAG-jai, a NATO AFS előírásai, a tűzvédelmi törvény, a kormányrendeletek, a Magyar Katonai Szabványok, belügyminisztériumi rendeletek, a LP/ÖHP utasításai, H-70 és ZATU szakutasítások határozták meg a szakmai előjárókkal történt konzultációk figyelembe vételével. A tanfolyamok indításhoz és lebonyolításhoz szükséges okmányok, tantárgyprogramok az egyetem által előírt formában elkészültek. A „*Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyam*” beiskolázási terve 10÷20 fővel és 44 óra képzési idővel számolt. A „*Repülőtéri speciális (szerződéses) tanfolyamokra*” 10÷15 főt kívántak beiskolázni, összesen 176 tanóra.

A „*Repülőtéri szakasz(váltás)parancsnoki tanfolyamokat*” 176 tanóra terveztek, alkalmanként 5÷10 fő részvételével. A gyakorlatban azonban a létszámihiányok és a készülségi szolgáltatások miatt e keretszámok folyamatosan változtak. Az egyes tanfolyamok követelményeit a megrendelők konkrétan meghatározták, ennek figyelembevételével alakítottuk ki a tantárgyprogramokat, illetve az elméleti szakmai és gyakorlati foglalkozások anyagait. A képzés és a szakkövetelmények elsajátítása eredményességének mérése záróvizsgákon történt, a megrendelő szakmai előjáró képviselőjének jelenlétében, illetve közreműködésével.

A tanfolyamok résztvevő tűzoltó állomány szakmai fejlődése a következő beiskolázási sorrendet feltételezte: „*Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyam*”, „*Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyam*”, „*Repülőtéri szakasz(váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyam*”. Nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamot csak a PRT állománya részére szerveztünk.

*Az általános követelmények* meghatározták azokat az általános – katonákra vonatkozó – előírásokat, amelyek biztosítják a katonai tűzoltóknak az alapvető feladataikhoz való képességek fejlesztését, illetve váratlan helyzetekben is lehetővé teszik a pozitív gondolkodást, megfelelő kreativitást, az elvárt jártasságot és nem utolsósorban a magas fokú végrehajtási képességeket. A *szakmai követelmények*, a magas szinten elsajátított elméleti ismeretek alapján biztosítják a katonai tűzoltók szakfeladatainak - minden időben, váratlan körülmények között – maximális biztonsággal történő végrehajtását.

## A KÉPESÍTÉS ÉS KÖVETELMÉNYEI

A „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyam”, a középfokú képesítést igénylő foglalkozások körében készít fel és a vele betölthető katonai beosztás a tűzoltó (gépkocsivezető). Ismernie kell a beosztásához kapcsolódó tűzoltási műveletek végrehajtását, az egyéni felkészítés megszervezését és végrehajtását. Képesnek kell lennie a tűzoltó készenléti szolgálat ellátására, a rendszeresített szaktechnikai eszközök alkalmazására különböző körülmények között és együttműködni a FORCE PROTECTION feladatokat végrehajtó más alegységek szakembereivel.

A „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyam” a középfokú és a felsőfokú képesítést igénylő foglalkozások körébe tartozik, a vele betölthető katonai beosztás a tűzoltó szakasz(váltás) parancsnok. Ismernie kell a beosztásához kapcsolódó tűzoltási műveletek végrehajtását, a műveletek megtervezését, megszervezését és irányítását. Képesnek kell lennie a tűzoltó készenléti szolgálat ellátására, a rendszeresített szaktechnikai eszközökkel a tűzoltási-, életmentési feladatok vezetésére különböző körülmények között, és együttműködni a FORCE PROTECTION feladatokat végrehajtó más alegységek szakembereivel. A másik két - a kezdő, illetve nem szervezetszerű tűzoltók részére tartott – tanfolyam, a képzési idő rövidege miatt csak adott feladat ellátására készít fel. Ezek „gyorstanfolyami” jelleggel bírtak, kiegészítő képzést adtak, képesítési követelmények nem társultak hozzájuk.

## BEISKOLÁZÁS A TANFOLYAMOKRA

A 2005-2006-os tanévben, az 5 db „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamot” 50 fővel és 4 db „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamot” 40 fővel terveztünk.

2007-ben a csapatok szervezési időszaka miatt nem rendeltek tanfolyamot a ZMNE-től.

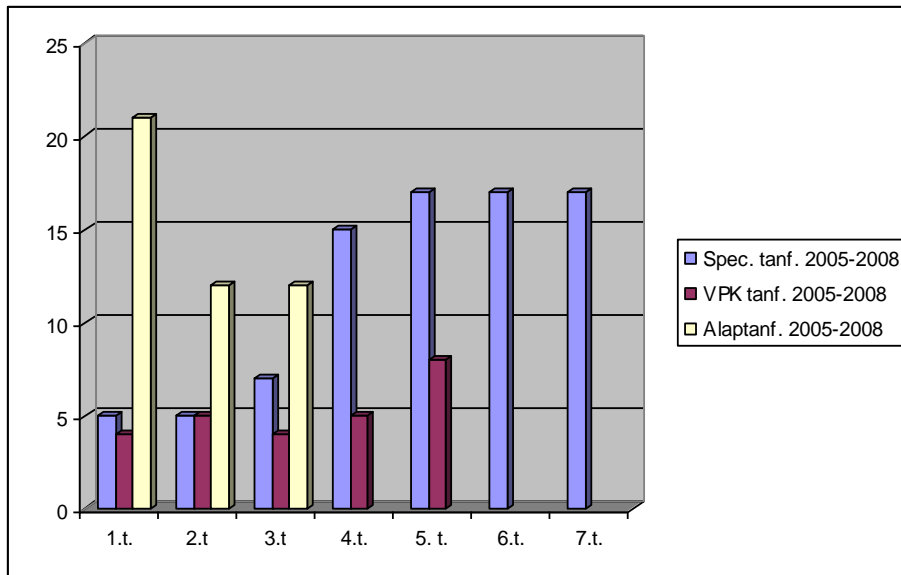
2008-ban 3 db „Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyamra” 61 fő, 2 db „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamra” 14 fő és 1 db „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tanfolyamra” 7 fő beiskolázását terveztük.

Ebben az időszakban, a tervek megvalósulása, a 2. számú ábrán láthatóaknak megfelelően: a „Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyam” létszáma az előzetesen tervezett kereteken belül volt, a „Repülőtéri speciális (szerződéses) tűzoltó tanfolyamból” az első három tanfolyam létszáma a tervezett alatt volt, a „Repülőtéri szakasz(váltás)parancsnoki tűzoltó tanfolyam”-ból is három tanfolyam a tervezett alatt volt. Ennek oka a szolgálati leterheltség és a létszámhiány volt.

A továbbiakban,

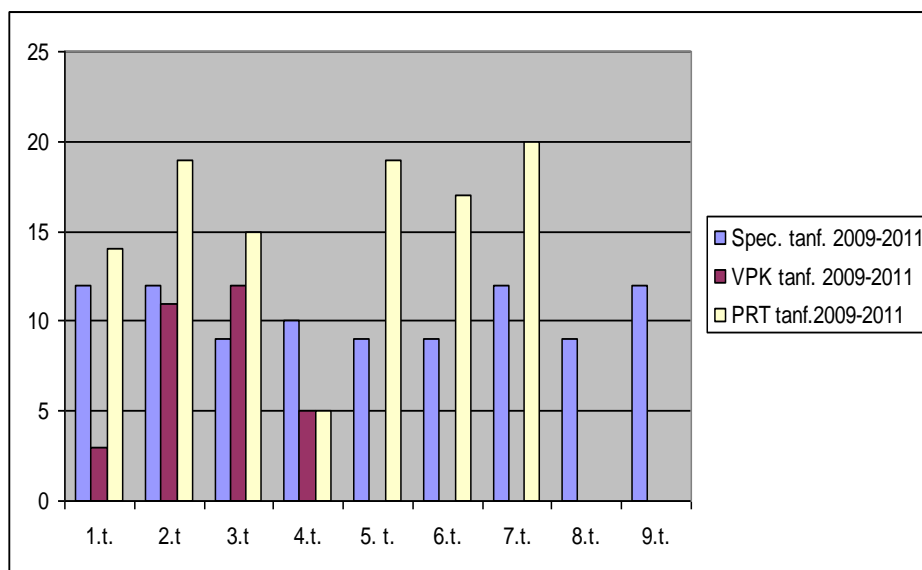
2009-ben 2 db „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyam” 14 fővel, 1 db „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyam” 4 fővel és 1 db „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyam” 20 fővel történő megtartására kaptunk megbízást.

2010-ben 4 db „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyam” 28 fővel, 1 db „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyam” 14 fővel és 4 db „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyam” 80 fővel történő lebonyolítását terveztük.



2. ábra A tűzoltó tanfolyamok létszámai 2005-2008

2011-ben 3 db „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyam” 20 fővel, 1 db „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyam” 8 fővel és 2 db „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyam” került tervezésre 60 fővel.



3. ábra A tűzoltó tanfolyamok létszámai 2009-2011

A tervek megvalósulása a 3. ábrán látható: a 9. tanfolyamon a „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyam” esetében, a résztvevők létszáma még mindig 44%-kal a tervezett keret alatt volt, a „Repülőtéri szakasz(váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamnál” 25%-kal kevesebben vettek részt, szolgálati leterheltség miatt. A „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamból” egy tanfolyam volt a tervezett létszám alatt, hiányos vezénylés miatt.

## A KÉPZÉSEK TAPASZTALATAI

A képzés tapasztalatait célszerű két nagy területen vizsgálni: a felkészítés és a vizsga. A felkészítésen közös munka folyik az oktató irányításával, hatékonysága a közös munka eredményét tükrözi. A vizsga a hallgatók elméleti és gyakorlati tudásszintjének felmérése, eredményessége a felkészítés hatékonyságára utal.

### A felkészítések tapasztalatai

A „Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyamok” 44 tanórája azt a minimális célt tűzte a hallgatók elé, hogy ismerjék meg az alapvető megelőző tűzvédelmi előírásokat, a tűzoltási és mentési taktikákat, a repülőtereken rendszeresített tűzoltó gépjárműveket, eszközöket és felszereléseket, valamint gyakorolják be az alapvető szereléseket.



4. ábra: Szerelési gyakorlat (Forrás: Baksi örgy)

A „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamoknál” az általános követelmények ismertetése során kiderült, hogy közülük valamennyit el kell magyarázni, mert nem egyértelműen értelmezik azokat. Főleg azt kellett tisztázni, hogy nem hősökre van szükség. Az előadások során kiderült, hogy a megszerzett ismeretek is eléggé hiányosak, főleg a tűzoltó szak kifejezések terén. A hallgatói állomány egy kis része nehezen értette meg, hogy egyes helyzetekben nem a személyek mentése az első (lásd: csapatzászló). Az elmélet foglalkozások jól alapozták meg a gyakorlatiakat. Az ellenőrző foglalkozásokon – mely alapvetően az elméleti ismeretek anyagát ölelte fel - 3,52-es átlag eredmény született. [2]

A gyakorlati foglalkozásokon a hallgatók nagy aktivitással, de sok hibával dolgoztak, amit a foglalkozás vezetők azonnal javítottak. Kiderült, hogy a „nagy mellény” mellett kevés volt a szakszerű gyakorlás a csapatoknál eltöltött idő alatt. Sajnos „Éles tűzoltási gyakorlat” csak a tanfolyamok 75%-ánál volt, mert a plusz oltóanyag nem érkezett meg a repülőbázishoz időben. A hallgatók Kecskemétre is átmentek, mert vadászrepülőgépek csak ott találhatóak, a gyakorlati foglalkozást ott hajtották végre.



5. ábra A kecskeméti repülőbázison (Forrás: Baksi örgy)

A legmodernebb tűzoltó technikát viszont Pápán ismerték meg (Panther) a hallgatók. Elsajátították az elméleti alapokat és részt vettek a legújabb tűzoltó gépjármű működtetésében.



6. ábra A Panther működés közben Pápán (Forrás: Baksi örgy)

A „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamoknál” a hallgatók jó elméleti alappal rendelkeztek, kiválóan ismerték a szakkifejezéseket, a tűzoltó technikai eszközöket és felszereléseket. A gyakorlati foglalkozásokon nagy aktivitással vettek részt. A tűzoltó raj (szakasz, váltás) irányítási feladatait, parancsnoki feladatokat kellett elsajátítaniuk. Az „éles tűzoltási gyakorlaton” is határozottan, céltudatosan tevékenykedtek, a foglalkozás-vezetők irányításával. Kiemelt figyelmet fordítottak az életmentési feladatok szakszerű végrehajtására.





7. ábra Életmentés (Forrás: Baksi örgy.)

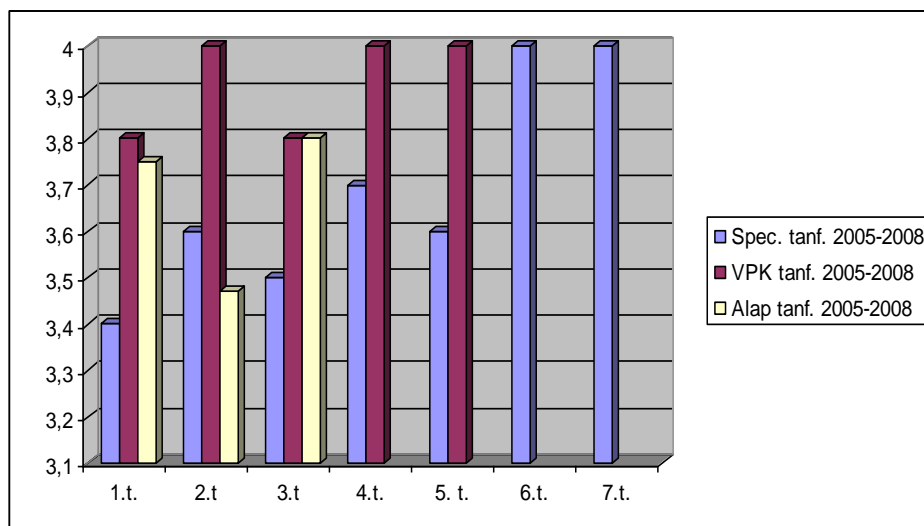
A „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamoknál” Az általános követelmények ismertetése során kiderült, hogy minden egyes követelményt külön el kell magyarázni, mert újdonság volt a számukra - főleg azt kellett tisztázni, hogy hősökre nincs szükség tűzoltási feladatok végrehajtása során, csak élő katonákra. Az előadások során a hallgatók nagy odafigyeléssel próbálták megérteni a számukra idegen szakkifejezéseket, fogalmakat. Felismerték az előadásokon, hogy rájuk az esetlegesen végrehajtásra kerülő tűzoltási-, mentési feladatok során milyen nagy felelősség hárul, melyet csak egymást segítve tudnak hatékonyan végrehajtani. Az elméleti foglalkozások jól alapozták meg a gyakorlatiakat. Ezeken a hallgatók nagy aktivitással dolgoztak és először sok hibával, amit a foglalkozás vezetők azonnal javítottak. A többszöri gyakorlás során már kevesebb hibát vétettek. A gyakorlati foglalkozások kiemelt részét képezték a tömlőszerelési és a ZATU foglalkozások. Mivel az afganisztáni táborban a ZATU a fő tűzoltó eszköz, ezért ennek a tűzoltó utánfutónak a használatát jól be kellett gyakorolni, hogy majd kint a táborban – ha szükség lenne rá – hatékonyan tudják alkalmazni. A gyakorlati foglalkozásra a koronát az éles tűzoltási gyakorlat tette fel, ahol már elég „meleg” helyzetekben kellett a feladatokat végrehajtani. [1]



8. ábra ZATU felkészítés (Forrás: Baksi őrgy.)

### A vizsgák tapasztalatai

A 2005-2008 közötti időszakban az első 15 tanfolyam került vizsgáztatásra. A „Repülőtéri tűzoltó alaptanfolyamok” vizsgaeredménye 3,4 és 3,8 között volt. Ez, ahhoz képest, hogy kezdők vettek részt a foglalkozásokon, gyakorlatilag 0 szakmai tudással kezdve – a vizsgaeredményeket nézve jó alapot adott a későbbi szaktanfolyamokra.

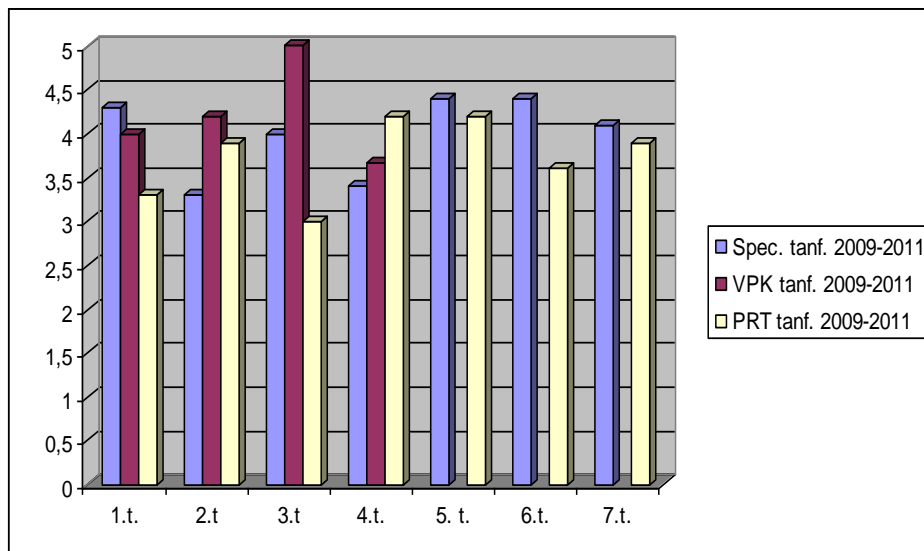


9. ábra Vizsgaeredmények 2005-2008 közötti tanfolyamokon.

A „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamoknál” az első 5 tanfolyamnál 3,5 -3,7 közötti eredmények születtek, melyet az utolsó 2 tanfolyam 4,0-s eredménye a tanfolyamok vizsgaátlagát 3,6-ra tornázta fel, ami jó szintű. Érdekeség, hogy a 7. tanfolyamnál nem volt elégséges vizsgaeredmény.

A „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamoknál” minden tanfolyam vizsgaeredménye 3,5 felett volt, a tanfolyamok vizsgaátlagja pedig 3,9. Ez az eredmény elvárható volt a parancsnoki állománytól.

A 2009-2011 közötti tanfolyamoknál kiestek az alaptanfolyamok és helyükre a PRT tanfolyamok kerültek. A „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamoknál” a vizsgaeredmények 3,3-4,4 közé estek. A 3. tanfolyamon volt egy elégtelen osztályzat is. A 5. és 6. tanfolyamon nem volt elégséges és közepes osztályzat sem.



10. ábra Vizsgaeredmények 2009-2011 között

A „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamoknál” 3,66-5,0 közötti vizsgaeredmények születtek. 1. és 2. tanfolyamokon nem volt elégséges és közepes vizsgajegy. A 3. tanfolyamon csak jelesre vizsgáztak hallgatók. A tanfolyamok vizsgaátlagja: 4,21 volt.

A „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamoknál” 3,0-4,2 közötti vizsgaeredmények születtek. Az 1. tanfolyamon nem volt jeles osztályzat. A 4. és 5. tanfolyamon nem volt elégséges és közepes osztályzat. A tanfolyamok vizsgaátlagja: 3,71 volt.

## A TANFOLYAMOK JÖVŐJE

A „PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamoknál” évente 2 tanfolyamot maximum 20-25 fővel szükséges kiképezni amíg a Magyar Honvédség ilyen missziót működtet Afganisztánban. A „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamoknál” 2012-ben 6 fő kiképzetlen van – ez a megoszlást tekintve 2 tanfolyam lenne. A „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamoknál” 2012-ben 19 fő kiképzetlen van (ebből 16 fő Pápáról!) – ez a megoszlást tekintve 4 tanfolyam lenne. Várható, hogy a kecskeméti Mercedes üzem beindulásakor a helyi repülőbázis tűzoltói állományából többen – a magasabb fizetések miatt – átmennek, itt újabb üres helyek, illetve a betöltésük esetén kiképzetlen tűzoltói állomány jelenik meg, melyek újabb tanfolyamok indítását indokolják. Várhatóan a jövőben is évi 2-3db „Repülőtéri szerződéses (speciális) tűzoltó tanfolyamok”-ra és 1-2db „Repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamokra” lenne szükség. Az elmúlt években több cikk is foglalkozott a katonai repülőtéri tűzoltó képzés helyzetével és javaslatokkal, eredménytelenül. [3][4]

2012-ben még nem lehetett a HM beiskolázási tervében szereplő tanfolyamokat tervezni, mert az előző évekkel ellentétben a Nemzeti Közszolgálati Egyetem nem tudta biztosítani 2 fő külső oktatónak az óradíj kifizetését. Belső oktatókkal nem lehet minden területei szakmai felkészítést megoldani, mert a Hadtudományi és Honvédtisztviselők Karonak nincs egyetlen olyan oktatója sem (szervezve), aki a katonai repülőterei tűzoltó állomány szakmai felkészítését végezné (a ZMNE-nek sem volt 2005 óta azt nyugállományú szakemberek végezték). Van két rossz megoldás:

- *egyik*, hogy csapatszinten megoldják a felkészítést oktatási tapasztalattal nem rendelkező szakemberekkel – viszont a repülőeszközökkel és a ZATU-val való gyakorlást csak Szolnokon lehet végrehajtani -, mert itt vannak eszközök;
- *másik*, hogy a Katasztrófavédelemmel oldatják meg, de azok nem ismerik a katonai repülőeszközöket, fegyver berendezéseket és a zászlóalj autonóm tűzoltó utánfutót, mert a tűzoltóságoknál ilyen eszközök nincsenek.

Ezek hatékonyságát nem kell ecsetelni. Van két jó megoldás is:

- *egyik*, hogy nem kell a tanfolyamokat a HM éves tervébe betenni, hanem szerződéskötéssel az egyetemmel (lásd 2010 PRT tanfolyam!) tanfolyamokra konkrét összegekkel és a külső oktatók most is bevonhatók az eredményes felkészítésbe;
- *másik*, katonai tűzoltó szakcsoport létrehozása 3 fővel az egyetemen a Hadtudományi-, és Honvédtisztviselők Karon (ebből HM szinten csak 2 oktatói helyet kellene létrehozni és egy helyet az MH-tól emberrel együtt át lehetne kérni). Ez azért lenne lényeges, mert az egyetemen a Katasztrófavédelmi Intézetnél csak civil tűzoltó tanszéket szerveztek – az ottani oktatók nem ismerik a katonai tűzoltó eszközöket, valamint a repülőeszközöket és fegyverrendszereit sem – a szakcsoport javaslat alapján megoldható lenne hosszabb távon is a tanfolyami oktatás és nem kellene külső oktatóknak óradíjat fizetni.

Amennyiben viszont sokba kerül a 3 fő bére, akkor csak a külső oktatók maradnak óradíjért, vagy meg kell szüntetni ezeket a tanfolyamokat, mert ezekben valóban nem felsőoktatás folyik, hanem NATO, ICAO követelményekre történő katonai felkészítés. Lényeges, hogy a katonai tűzoltó képes legyen az összetett körülmények között is a bajbajutott hajózó állomány és a helikoptereken szállított katona állomány kimentésére tűz-, és robbanás veszély esetén – ehhez viszont magas szintű és hatékony felkészítésre van szükség. Érdemes-e ezt beáldozni?

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. JAKAB LÁSZLÓ: A PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamok tapasztalatai – Repüléstudományi konferencia 2012.
- [2] DR. JAKAB LÁSZLÓ: Repülőterei speciális (szerződéses) tűzoltó tanfolyam tapasztalatai – Repüléstudományi Közlemények -2008
- [3] DR. CSUTORÁS GÁBOR: A katonai tűzoltó koncepció – Sereg Szemle – 2010. 2. szám
- [4] DR. JAKAB LÁSZLÓ: A katonai tűzoltó képzés megvalósításának lehetőségei a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülő- és Légvédelmi Intézetében – Repüléstudományi Közlemények – 2010. 3. szám.



Kis J. Ervin<sup>1</sup>

## PARADIGMAVÁLTÁS AZ ISZRAELI LÉGIERŐNÉL<sup>2</sup>

### *Rezümé*

*A folyamatos fejlődés és szervezeti átalakulás egyik legszembetűnőbb példája az izraeli légierő múltja, jelene és jövője. Egy fegyveres küzdelem alakulását és végeredményét - döntő fontosságban - a légierő alkalmazásának helye, szerepe dönti el. A technikai fejlődés terén az Izraeli Légierő az élen jár, bizonyítva, hogy a légi fölény elengedhetetlen a szárazföldi sikerek kivívásához. Ennek eléréséhez és megőrzéséhez technikai fejlődés, modernizálás és egyre inkább a high-tech technológia alkalmazása szükséges. Ezt a fejlődést és folyamatot mutatom be az előadásomban, azt, hogy miként szolgálhat az Izraeli Légierő mintául bármely fejlett ország hadserege számára.*

### **PARADIGM CHANGE AT THE ISRAELI AIR FORCE**

### *Resume*

*The Israeli Air Force's past, present and future is the most outstanding example of continuous development and structural change. The organization and the result of a combat is largely decided by the location where the air power is applied and its role. The Israeli Air Force holds the first place in technological development, proving that air superiority is indispensable to success on land. To attain and maintain this, technological development, modernisation and the application of high-tech technology is necessary. In my presentation, I am going to demonstrate the process of development – how the Israeli Air Force can serve as a role model for the army of any developed country.*

A világ légierői folyamatos fejlődés és szervezeti átalakulás alatt állnak. Erre az egyik legszembetűnőbb példa az Izraeli Légierő múltja, jelene és jövője.

Egy fegyveres küzdelem alakulását és végeredményét - döntő fontosságban - a légierő alkalmazásának helye, szerepe dönti el. A szervezeti átalakításban, technikai fejlődésben az izraeli légierő – az ország kis területe ellenére - az élen jár és bebizonyította többek között azt is, hogy a légi fölény kivívása elengedhetetlen a szárazföldi sikerekhez. Ennek eléréséhez és megőrzéséhez technikai fejlődés, modernizálás, esetleg high-tech technológia alkalmazása szükséges, valamint azok folyamatos karbantartása.

Izrael a világvallások bölcsője, de számtalan összetűzés és háborús konfliktus helyszíne is a Közel-Keletnek ezen a részén.

Évszázadokon keresztül üldözték itt a zsidókat, templomaikat újra és újra lerombolták és a falakat hiába építették újjá, ismét csak a pusztítás következett. Ezek az események sok áldozatot követeltek Izrael népétől. Talán a legsúlyosabb, hogy a zsidóság nagy része a Római Birodalom idején hazája elhagyására kényszerült, majd az ezt követő évszázadok során szétszéledt a világban, Palesztina pedig arab befolyás alá került.

Történelmi fordulópont volt, amikor közel 64 éve, 1948. május 14-én David Ben-Gurion kikiáltotta az új Izrael állam függetlenségét. Ez a zsidó nép számára egy rég várt álom megvalósu-

<sup>1</sup> ervinjk@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

lását jelentette, a velük évezredek óta szemben álló arabok számára viszont nem mást, mint a háborút.

Az első világháborút követően, 1947. november 27-én az ENSZ kinyilvánította Palesztina felosztását. A területet zsidó és palesztin részre, két államra osztották. Az arabok azonban visszautasították az ENSZ határozatát, és 1948-ban Szíria, Irak, Jordánia, Szaúd-Arábia és Egyiptom felkészült a háborúra.

Egy olyan parányi ország esetében, mint Izrael egy háború elvesztése megengedhetetlen, hiszen a háború elvesztése az ország elvesztésével egyenlő. Izrael tudta ezt és felkészült, hogy megkezdje első háborúját.

A háborús terv az arab országok részéről a gyors győzelem volt, hiszen még azelőtt szét kellett rombolniuk Izraelt, mielőtt az létrehoz egy erős, hatékony és ütőképes hadsereget. Közben az egyiptomiak Dakotákkal és Spitfighterekkel bombázták Tel-Avívot, Izraelt mindössze néhány légvédelmi üteg és könnyű polgári repülőgép védte annak ellenére, hogy Izrael bevett minden fegyveres eszközt, ami fellelhető és beszerezhető volt a fegyverpiacon. Az elsők között – néhány Spitfire és Messerschmitt gép mellett – 1948-ban két P-51-es Mustangot sikerült megvásárolnia.

Ám egy háború gyors befejezését a légierő támogatása, a légierő fölénye nélkül a szárazföldi csapatok nem tudják kivitelezni, megnyerni pedig végképp nem, hiszen a légierő a felderítésekkel, a földi és légi célok elpusztításával segíti és támogatja a szárazföldi erők tevékenységét. (Az Izraeli Légierő esetében ez ráadásul olyan jól képzett pilóták alkalmazásával történt, akik a második világháborúban a Royal Air Force századaiban repült és rutint szerzett zsidók és önkéntesek voltak.)

Izrael számára ezért a légierő fejlesztése volt az elsődleges és legfontosabb szempont, mert egy-egy új, az adott kor legfejlettebb eszközeinek az alkalmazása jelentős fölényt biztosíthat az ellenséggel szemben, de csak ideig-óráig. Az ellenség pedig – jelen esetben az arabok – olyan emberfölénnyel és a repülőgépek számát tekintve olyan erőforrással rendelkezett, a területi nagyság különbségről nem is beszélve, amellyel szemben Izraelnek esélye sem volt egy hosszantartó háború esetén győztesként kikerülni. Ezért élvezett – minden mást megelőzve – prioritást a légierő fejlesztése.



1. ábra Avia S-199

Az izraeli kormány által vásárolt első – nem túl népszerű – gépek egyike az Avia S-199-es volt, a csehszlovák építésű Messerschmitt 109-es. Ebből 25 darabot szállítottak, ill. reptettek Izraelbe, melyből mindössze 4 darab „élte túl” a háborút. Az S-199-es, mely néha legalább

olyan veszélyes volt a vezetőjére, mint az ellenségre, a „Mezek” („Szamár”) gúnynevet kapta, de az izraeli pilóták csak Szakén-nak („kés”) nevezték el.



2. ábra P-51 Mustang

Szintén Csehszlovákiától vásárolta meg az Izraeli Légierő például a háborúban használt Spitfighter MK-9-est. A P-51-es Mustang - mely leginkább a manőverező képessége miatt volt népszerű a légierőnél - lett az Izraeli Légierő alaptípusa egészen 1953-ig (ez idáig összesen 27 darabot vásároltak). Izrael 1953-ban kapta meg az első sugárhajtású repülőgépet, a Gloster Meteor. 1954-ben megkezdődött a minőségváltás, ugyanis a légierő beszerezte az első ND 450 Ouragan-t, amelyet a Myster 4-A követett.

A pilótáik az első nagyteljesítményű harci gépet a "francia korszaknak" nevezett időszakban kapták meg, a Myster 4-A-t, mely kiválóan alkalmas volt több célra is csakúgy, mint a következő időszak amerikai vadászai, a Phantom és az F-család tagjai. A Myster is - a Spitfighter mellett - egy új fejezetet, egy új korszakot jelentett. A légszavaros gépekről való átállás után a gépek botkormányai mögött tanulták meg a pilóták - a Jet-korszak előírásainak megfelelő, újfajta harcmodort. A Myster ugyan rendkívül súlyos volt, de kiváló támadó képességével ennek ellenére is esélyes győztesként vette fel a harcot a sokat próbált örök ellenséggel, a szovjet MiG-15-össel.



3. ábra Izraeli felségjelzésű Gloster Meteor

A Szezei-válság kitörésekor az Israel Air Force első osztályú légierőnek számított. Pilótáik jól felkészültek voltak, és nagy profizmussal vezették a még csak korlátozott számban lévő modern sugárhajtású gépeket. A Szezei-válság első izraeli légitámadását ennek ellenére a sugárhajtású gépek helyett a jó öreg Mustangokkal hajtották végre.

1956. október 29-én négy F-51-es repült be nagyon alacsonyan Egyiptom területére, és légszavarjaik-

kal elvágta a légvezetéseket. Ezzel a bravúros művelettel gyakorlatilag megszüntették a kommunikációt, ill. az értesíthetőséget az egyiptomi csapatokról. Ennek a légi bravúrnak döntő jelentősége volt a háború kimenetelére nézve.



4. ábra F-51

A sikeres akció megteremtette egy meglepetésszerű támadás lehetőségét is. Az MD 450 Ouraganok, Gloster F-41 Meteor vadászgépek és az MD 452 Mystèrek, valamint Douglas C-47-es Dakota szállítógépek segítségével ejtóernyősöket dobtak le Egyiptom területére, akik megnyitották a lehetőséget a szárazföldi csapatok számára.

A Sínai-félszigetet megszállása után pár nappal az egyetlen Vörös-tengeri kikötő, Eilat is blokádnak alá került. A háború kilenc nap múlva – a francia és brit erők harcra szállásával - befejeződött. A szuperhatalmak ultimátumban kényszerítették Franciaországot és Nagy-Britanniát, hogy vonják ki csapataikat az övezetből, majd Izrael is – ellenőrzés mellett - kivonta erőit a Sínai-félszigetről.

Az '56-os háború után mindkét fél részéről, így természetesen izraeli oldalról is elkezdődött egy intenzív fegyverkezési verseny a légierők szempontjából. A dugattyús gépek korszaka után a sugárhajtású gépek kerültek alkalmazásra. Az Izraeli Légierő oldalán az Ouraganok, a Mystèrek és a Super Mystere-k (B-2 változat) jelentették a meghatározó szerepet. A légierő-fejlesztés ezen szakasza a Mystere IV. szuperszonikus változatának rendszerbe állításáig tartott. Az arab államoknál, elsősorban Egyiptomban megjelentek a MiG-15-ös sugárhajtású gépek, melyek közel azonos technikai adatokkal bírtak, mint az izraeli oldalon legmodernebbnek számító Mystere-k. A MiG-17-ek egyiptomi alkalmazásával a fegyverkezési versenyben az arab erők már nemcsak az állandó mennyiségi, hanem minőségi erőfölénnyel is bírtak. A meglévő arab számbeli fölény mellett a MiG-21-ek megjelenésével a technikai fölény is döntő jelentőségűvé vált. A MiG-21 elfogóvadász generációjának az egyik legjobb gépe volt.

Az 1962. év az Izraeli Légierő számára egy jelentős fordulópontot jelentett a légierő gépeinek korszerűsítése szempontjából. A vásárolt 4 Vautour-ból 2 BRG felderítő és bombázó feladatokkal került alkalmazásba, míg a másik kettő a szárazföldi célok támadására lett kijelölve. A Vautour, szubszonikus vadászbombázó, felderítő és alacsony támadó repülőgép, melyet az 1950-es években fejlesztettek ki Franciaországban. Az Izraeli Légierő 1958-ban állította rendszerbe a gépet és különösen a hatnapos háborúban intenzíven használta, majd 1971-ben a Vautourt az F-4 Phantom II váltotta le.





6. kép MiG-15

A Sínai-válságot követő tíz év alatt nyomon lehetett követni a légierő fokozatos áttérését az utolsó dugattyús-motorú gépekről a sugárhajtásúakra, amelyek az Ouraganok, a Mysterek és a Super Mysterek voltak, majd a Myster-4-es szuperszonikus több verziójáig folytatódott a fejlesztés. A Mosquitókat a Vautourokkal helyettesítették, és a Vautourt felderítésre és bombázó feladatokra használták. Az alaptípust a szárazföldi célok támadására alkalmazták.

1962-ben egy olyan új vadászgép szolgálatba állítása kezdődött meg Izraelben, mely a légierő életében fordulópontot jelentett: a Mirage III-C akkoriban Nyugat-Európában a legmodernebb repülőgéppnek számított. Ez volt Izrael válasza a MiG-21-es egyiptomi bevezetésére.



7. kép Mirage III-C

Az Izraeli Légierő legfontosabb repülőgép típusai a Mirage III-asok különböző változatai voltak. Az Izraeli Légierő háromféle Mirage III típusú repülőgépet vásárolt: 70 db Mirage IIICJ típusú együléses vadászrepülőgépet 1962 áprilisa és 1964 júliusa között, 2 db Mirage IIIRJ típusú felderítő repülőgépet és 4 db Mirage IIIBJ típusú kétüléses harci kiképző vadászrepülőgépet 1966-ban és 1968-ban. Az Izraeli Légierő Mirage III típusú repülőgépei számos módosításon estek át a szolgálati idejük alatt, ugyanis néhány Mirage IIICJ típust ideiglenesen átalakítottak optikai/fényképező-felderítő feladatra is. A módosítások többnyire saját erőből történtek a feladatoknak és az igényeknek megfelelően.

A Mirage III típus főbb jellemzője, hogy teljes egészében fémből épült, egyhajtóműves, alsó deltaszárnyú repülőgép. A hajtómű félkör alakú, változtatható keresztmetszetű levegő-beömlő

nyílása a törzs két oldalán, a pilótakabin mögött van. A bejutó levegő mennyiségét egy-egy, a levegőbeömlő-nyílásban lévő, kúp alakú test előre-hátra mozgatásával lehetett szabályozni. A törzs hátsó része alatt egy gyorsító rakéta számára alakítottak ki rögzítési lehetőséget és helyet, ehelyett később további tüzelőanyag-tartályt szereltek fel. A szárnyak alján és tetején egy-egy előre felé nyíló féklap, a kilépőéleken elevonok (kombinált csűrő és magassági kormány) vannak. Eredetileg összesen három fegyverfelfüggesztő csomópontot alakítottak ki, egyet a törzs alatt, valamint a félszárnyak alatt egyet-egyet, de hamarosan a szárnyak alá újabb egy-egy csomópontot szereltek. A nagyméretű, hátranyilazott függőleges vezérsíkon helyezték el az oldalkormányt. A repülőgép futóműve hárompontos, az orrfutót a törzsbe, hátrafelé, a főfutókat a szárnyba, befelé húzzák be. A pilóta hátrafelé nyíló kabintető kaptatóban ül.

1967-ben erősödött az összefogás Szíria és Egyiptom részéről Izraellel szemben. Nasszer elnök U Thant ENSZ főtitkár asszisztálásával elküldte az ENSZ megfigyelőket a Sínai-félszigetről, ezzel megteremtette a kínálkozó lehetőséget, azaz kedvező helyzetet Izrael megtámadására.

A felgyorsuló események hatására érezhető volt, hogy a következő háború bármelyik pillanatban kitörhet. Az Izraeli Légierő vezetése - látva a vele szembenálló többszörös erőfölényt - egy végtelenül merész, de szinte percnyi pontosságú hadműveletet dolgozott ki, melynek a fedőneve „Fókusz hadművelet” lett. A terv értelmében 1967. június 5-én 7 óra 40 perctől háromszor 40 gépből álló kötelék szállt fel, és a szokásos rutinrepülések helyett a Földközi-tenger fölött nem visszafelé, hanem kismagasságon egyiptomi légtérben végrehajtotta a 10 kiválasztott repülőter elleni légitámadást. A légitámadás során saját gyártmányú bombákkal megsemmisítették a hátsóországban lévő kifutópályákat és elpusztították a repülőtereken állomásozó egyiptomi légierő 304 gépét a 419 gépből. Figyelembe kellett venni, hogy a többszörös, minden eszközre kiterjedő erőfölénnyel szemben a légierő vezetésének csak ez a meglepetésszerű támadás és annak a tökéletes kivitelezése jelenthette az esélyt a győzelemre. Amíg az 1956-os háborúban az Egyiptom elleni légitámadásokat döntően a francia és az angol erők hajtották végre, 1967-ben a stratégiai feladatokat önállóan és ráadásul az ellenség hátsóországában kellett végrehajtani. A kimagasló katonai siker eléréséhez feltétlenül hozzájárult a műszaki személyzet begyakorolt és a gyakorlások során szinte tökéletesre fejlesztett tevékenysége is. Egy vadászgép a kiszabott és előre meghatározott feladatoknak megfelelően három, négy, esetenként hat bevetést hajtott végre. Egy bevetésről visszatérve mintegy 7,5 perc időtartam alatt lett feltöltve újra üzemanyaggal és fegyverzettel. Ezzel a teljesítménnyel az izraeli légierő mind a fegyveres küzdelem megtervezésében, mind a felkészítésben és a végrehajtásban kiválóan szerepelt, és kivívta a legmagasabb szintű szakmai elismerést.

A „Fókusz” fedőnevű hadművelet nemcsak Egyiptom számára, de Szíria és Jordánia számára is végzetessé vált. Szíria a meglévő 253 repülőgépéből 112-t, míg Jordánia a 21-ből 21-et, azaz 100 %-ot veszített. Az a kevés számú egyiptomi vadászgép, amelyik fel tudott szállni, illetve a szír vadászok, amelyek légi harcba keveredtek az izraeli vadászokkal szemben, gyakorlatilag az utolsó bevetésüket élhették meg. Az arány ebből a szempontból 79 arab gépvesztés a 3 izraelivel szemben.



8. ábra Foga Magister (Tzukit)

A korábban oktatásra használt Foga Magisterek-et most egy speciális feladatra, földi célok elleni bevetésre, gépjárműkonvojok megtámadására vetették be. A Magisterek Ouraganok kíséretében hadtörténeti jelentőségű légicsapást hajtottak végre a Mitla hágó felé haladó teherautók ellen. Mintegy száz teherautót ejtettek csapdába, így járművek nélkül az egyiptomiak a sivatagon keresztül csak gyalog indulhattak haza.

A harmadik arab-izraeli háború június 10-én Izrael győzelmével és a győzelem kivívásában döntő szerepet játszott légierő teljes sikerével ért véget. Nemcsak a 452 arab repülőgép, hanem a körülbelül 500 harckocsi (azaz az arab államok, ezen belül Egyiptom harci gépezetének 70%-a) elpusztítását hajtotta végre. Mindezt úgy, hogy a saját gépvesztés mindössze csak 46 gép volt. Ez volt az első olyan háború, amelyben már kizárólag sugárhajtóműves harci repülőgépeket vetettek be.

Ez a háború is bebizonyította: a szárazföldi győzelemhez nélkülözhetetlen a légi fölény.



9. kép F-4 Phantom

A harmadik arab-izraeli háború után a zsidó államra a szovjet légvédelmi rakéták megjelenésével egy újfajta veszély leselkedett, hiszen a korszerű légvédelmi rakéták színrelépésével a harci repülőgépek légi célpontokká váltak. Az új típusú kihívással szemben fel kellett készülni, de különösen nehezítette a helyzetet, hogy a korábbi stratégiai partner Franciaország, De

Gaulle elnök utasítására beszüntette a fegyverszállításokat Izrael részére. A politikai vezetésnek egy új stratégiai partnert kellett keresni, mely nem volt más, mint az Egyesült Államok politikai és katonai vezetése.

A tárgyalások eredményeképp 1968-tól A4 H SKYHAWK típusok, majd 1969-től 50 F-4E és 6 RF-4E Phantom-II (elektronikai hadviselésre felkészített változat), a kor legjobb és legmodernebb elfogóvadászai kerültek leszállításra. Ezek a típusok döntő szerepet játszottak a Jom-Kippuri háborúban. Az 1970-től induló és három évig tartó front nélküli háborúban a Szovjetunió nemcsak a fegyverszállításokban, hanem a kiképzés megszervezésében is jelentős mértékben segítette az arab államokat. Sok esetben az izraeli határ közelében, sőt a légtérbe berepült arab vadászgépekben is szovjet pilóták tartózkodtak. A légvédelmi rendszerek telepítését és kezelésük oktatását szintén a tartósan a térségben állomásozó szovjet katonai szakértők irányították. A jelentős szovjet segítség ellensúlyozására Franciaország Izraellel szemben feloldotta a fegyverembargót. Izrael azonnal megrendelt 50 Mirage III harci gépet, melyet soha nem szállítottak le. Az izraeli titkosszolgálat megszerezte a Mirage III tervdokumentációját és F-4 Phantom II hajtóművel 1972-ben megépítette a saját géptípusát, a Kfir-t. Az alapváltozatot 1976-ra teljesen átdolgozták, ez a Kfir C2 konstrukció már alig hasonlított az eredeti francia tervhez, a Mirage-hoz.



10. ábra Kfir C2

Az 1973. évi (Yom Kippur) háború az arabok meglepetésszerű támadásával indult az "Engesz-telés Napján", az egyik legszentebb zsidó ünnepen. Az izraeli légvédelem szinte teljesen tehetetlennek bizonyult. A föld-levegő rakéták csaknem halálos pontossággal lőttek le minden, a hatótávolságukba berepülő gépet, miközben az egyiptomi szárazföldi haderők az ország belseje felé haladtak. A meglepetés traumája után a kékcillagos gépek óráról órára, egyre jobban viszszyanterték az uralmukat az égen. Új taktikát alkalmaztak, hogy elmenekülhessenek a rakéták elől, új módszerrel kerültk ki a halálos égi nyílvevsszőket. Az elektronikai hadviselés műszaki arzenálja ekkor biztosította először a használhatóságát. A légi-irányítás és a repülőgépek közötti összehangolt tűzcsapások sok indítóállvány-állomás megsemmisítését eredményezték.



11. ábra A-4H Skyhawk

Ez a háború egy minőségében teljesen új háború volt, hiszen az arab államok légvédelmi rendszereiben (főleg Egyiptomban) az 1970-es évektől a közepes és nagy magasságon támadó légi célok elleni SA-2 légvédelmi rakéták mellett a kis magasságon repülő célok elleni SA-3 típusú honi, valamint a mozgékony SA-6 csapatlégvédelmi rakéták is megjelentek. Egyes rakétatípusokat már mozgó állványról alkalmaztak. Ugyanakkor ebben a háborúban új taktika került alkalmazásra, először vetették be az elektronikai hadviselés eszközeit. Az "Engesztelés Napi" háború volt az első alkalom, amikor a harcok az elektronikus hadviselésre is kiterjedtek. Az arab országok ekkor már a legmodernebb szovjet légvédelmi rakétarendszereket működtették. Az abban az időben már Vietnamban is széles körben alkalmazott SA-2 rakétákon kívül egy újabb föld-levegő típus, az SA-3-as is bevetésre került. Ez már radar-irányítású volt és közepes magasságban, az elődjénél sokkal hatékonyabban pusztított. Rövidebb hatótávolságuk ellenére is ezek a rakéták okozták a legnagyobb veszteségeket az Izraeli Légierőnek.

Az Izraeli Légierő tevékenységét az egész konfliktus alatt a feszítettség jellemezte. A légierőt főleg a légiuralom kivívására és a szárazföldi csapatok tevékenységének támogatására vetették be.

A harcok során az izraeliek széleskörűen alkalmazták a F-4 Phantom és a Mirage III típusú harcászati vadászbombázó repülőgépeket, az A-4H Skyhawk típusú csatarepülőgépeket, a Bell-205 (UH-1D), Alouette II és III, valamint Super Frelon típusú helikoptereket.

A légi harcok idején az izraeliek csak az F-4 Phantom és Mirage III típusú repülőgépeiket alkalmazták. A légi harcokban kiderült, hogy az F-4 Phantom típusú repülőgépek a nagy bólintó szöggel és nagy túlterheléssel végrehajtott emelkedéseknél hamar elveszítik sebességüket, és dugóhúzóba esnek.

A lelőtt izraeli repülőgépvezetők elmondása szerint közepes és nagy magasságon vízszintes síkban nehezen lehetett az F-4 Phantom típusú repülőgépekkel manőverezni, különösen 400-450 km/óránál kisebb sebességnél. Ezért a kis sebességen való stabilitás és vezethetőség jellemzőinek javítása céljából mintegy 80 F-4 Phantom típusú izraeli repülőgépet különleges, automatikusan vezérelhető segédszárnyakkal szereltek fel, így jelentősen növekedett azok manőverező képessége, ezért a 80 korszerűsített F-4 Phantom típusú repülőgép lehetővé tette légiharc megvívását a MiG-21 repülőgépekkel – kis sebességen, vízszintes fordulókkal. Kis magasságon az F-4 Phantom és Mirage III típusú repülőgépek manőverező képessége a MiG-

21-hez viszonyítva jobb volt.

Amikor légvédelmi rakétákkal oltalmazott repülőterekre mértek csapásokat F-4 Phantom típusú repülőgépek, az optimális terhelés 8-10 darab 340 kg-os bomba, valamint két, egyenként 456 kg tömegű kazettás bomba, vagy két „levegő-föld” osztályú irányítható rakéta volt.

Vadászrepülőgép változatban az F-4 Phantom típusú repülőgépre 6 „levegő-levegő” osztályú irányítható rakétát (2 AIM-7 Sparrow és 4 AIM-9 Sidewinder típusú), a Mirage IIIC típusú repülőgépre pedig 2 AIM-9 Sidewinder típusú irányítható rakétát függesztettek fel.

A közel-keleti harctevékenységek megvívása során a harckocsik és más páncélozott célok elleni harcra Izrael először alkalmazott tüztámogató helikoptereket. Ezek a Bell-205 (UH-1D), az Alouette II és III típusú helikopterek voltak. Ezenkívül páncéltörő eszközként alkalmazták a francia gyártmányú, AS-11 típusú irányítható rakétákat és az amerikai TOW típusú irányítható páncéltörő rakétákat.



12. ábra Bell-205

Számos alkalommal egy-két tüztámogató helikoptert leszállásból alkalmaztak. Ezek a helikopterek a harckocsik közeledésére levegőbe emelkedtek, és rakétákat indítottak, főleg a parancsnoki harckocsik megsemmisítésére.

Az izraeli repülőgépek új infravörös csapdákat is alkalmaztak az infravörös, vagy más néven hővezérelt légvédelmi rakéták zavarására.

Az infravörös csapda egy speciális üzemanyag-keverékkel töltött, 4 mm falvastagságú, 250 mm átmérőjű, gömb alakú fémtartály. Ezeket az infracsapdákat néhány másodperces időközönként vetik ki a repülőgépekből és azok égve, kis ejtőernyőkkel ereszkednek le. Egy repülőgép átlagosan tíz ilyen infracsapdát vihet magával (2 függesztett konténer, egyenként 5-5 csapdával). A keverék a tartályból, annak az alsó részén levő nyílásán keresztül folyik ki és körülbelül 30 másodpercig, nagy hőfokon égve egy „hamis” infravörös célt képez a hőrávezetési légvédelmi rakéta részére.

Ezért például a szírek által az izraeli repülőgépekre indított kb. 66 darab 9K32 (SA-7, Sztrela-2) típusú rakétából egy sem talált célba.

A levegő-föld típusú irányítható rakéták közül a leghatékonyabbak a televíziós irányítású AGM-65 Maverick rakéták és a TOW típusú irányítható páncéltörő rakéták voltak.

Az AGM-65 Maverick típusú rakétákat a háború befejező szakaszában harckocsik, rakéták és

tüzérségi lövegek ellen alkalmazták. Az F-4 Phantom típusú repülőgépek mintegy 50 AGM-65 Maverick rakétát indítottak, amelyekből több mint 40 telitalálat volt, a többi 3 méteren belül csapódott a cél közelébe. A rakéta indítása után a repülőgép azonnal rakéta elleni manővert hajtott végre és más feladat teljesítésére tért át.

1976. július harmadikájának éjszakáján az Izraeli Légierő hozzáfogott eddigi legmerészebb vállalkozásának végrehajtásához. Hét nappal korábban egy francia utasszállító repülőgépet eltérítettek és leszállásra kényszerítettek Uganda entebbei repülőterén. A zsidó utasokat a gépeltérítők túszul ejtették, és cserébe számos terrorista szabadon bocsátását követelték. Az izraeli válasz a "Villámcsapás" hadművelet volt. Titokban két C-130-as Hercules szállt fel. Az egyik fedélzetén speciálisan kiképzett kommandósok készültek bevetésre. A Herculesek Entebbébe repültek, és mire az ugandaiak ráeszmélhetek volna, hogy mi is történik a repülőterén, a túszyok már ismét szabadok voltak és biztonságban repültek Izrael felé.



13. kép C-130 Hercules

1981-ben - az Opera hadművelet részeként - az Israel Air Force végrehajtott egy nagy távolságú átrepülés utáni légitámadást. Az izraeli gépek három ellenséges országon repültek keresztül, hogy megakadályozzák a Bagdad melletti osiraki nukleáris erőmű építésének befejezését, ahol az iraki atombombához szükséges plutóniumot állították volna elő. Az F-16-os "Sólymok" az F-15-ös "Sasok" támogatták. Az F-15-ösök már 1977 óta hadrendben álltak, bár az izraeliek sokáig tévőáztak, hogy megvásárolják-e ezt a drága típust, de a "Sasok" már egy évvel később, a libanoni háborúban bebizonyították, hogy nem volt felesleges a rájuk költött pénz. 1981. június 7-én nyolc F-16-os szállt fel két tonna bombával a szárnya alatt a bázisáról. Küldetésük során 970 kilométert repültek kis magasságban, ellenséges területek felett az osiraki erőmű felé. A támadás csak hét percig tartott. Mindegyik Falcon egyszer repült rá a célpontjára, és sebészeti pontossággal dobta le terhét az előre meghatározott épületrészekre. Teljesen lerombolták az erőművet.



14. ábra F-15-ös

A hetvenes évek elején a PFSZ megalakította libanoni központját. Az észak-izraeli falvakat sorozatvetőkkel és 40 km-es hatótávolságú rakétákkal lőtték. Az 1982-ben, a PFSZ által megalakított libanoni központ egyre gyakoribb támadásokat intézett észak-izraeli falvak ellen. 1982. júniusában adták ki a parancsot a „Béke Galileáért” fedőnevű akció végrehajtására. A hadsereg betört Libanonba, hogy visszaszorítsa a PFSZ erőit a térségből. A légitámadások megakadályozása az Israel Air Force feladata volt. Az F-15-ös és F-16-os kötelékeket Faro és Zefir, légiharcra alkalmas rakétákkal szerelték fel. Izrael előzetesen informálta szándékáról Szíriát, és az izraeli pilóták csak támadás esetén lőtték szíriai célokat.



15. kép F-16

Ebben az időben az arab országok pilótái a MiG-21-es legújabb változatával repültek, és már hadrendben álltak a szovjetek legmodernebb vadászai, a változtatható szárny-nyilazású MiG-23-as Floggerek is. Mindössze két nap kellett ahhoz, hogy a légi háború véget érjen. Az eredmény szinte hihetetlen volt. Az Israel Air Force egy gépet veszített, de lelőtt 85 MiG-21-est és 23-ast. Ismét Izrael szerezte meg az uralmat az égen.

Az izraeli pilóták alapkiképzése nagyon kemény, embert próbáló, de az egyik legjobb a világon. A repülő iskolák legtöbb Fighter Cup-ja harminc évesnél idősebb, de ennek ellenére még mindig szolgálatban állnak. Izraelben – jobban, mint bárhol másutt a világban - a pilóták alkotják a fegyveres erők elitjét. A földi kiképzést a kezdő tanfolyam követi a Fighter PA-18



Super Cup-okon. A Fighter után a Fouga Magister-rel, becenevén a Cukit-tal folytatódik az oktatás, melyen már csak a legjobbak vehetnek részt.

A szállítási feladatok ellátására leginkább a C-47-eseket és a C-130-as Herculest használják, néhány Dakotát pedig elektronikai hadviselésre alakítottak át. Az izraeli szállító-pilóták szintén a világ legjobbjai közé tartoznak.

A helikopterek lényeges szerepet játszanak az Izraeli Légierőben. A Yom Kippur-háború alatt, de a libanoni háborúban is a helikopterek okozták a legnagyobb veszteségeket a harckocsik, a szárazföldi erők és a terroristák ellen vívott küzdelemben. A Bell 212-es a helikopterflotta mindenese. Nemcsak csapatokat és felszereléseket szállíthat, de fejlett navigációs rendszere különleges feladatok végrehajtására is alkalmassá teszi.



17. ábra Bell 212

A helikopter a földi akciókkal koordinálva légi megfigyelőként is működhet. Izrael 1969 óta Sikorsky S-65 C-3-asokat is rendszerben tart. Ez a súlyos szállító-helikopter kiválóan alkalmas nagy magasságban és forró éghajlaton is bevetésekre.

Az izraeli CH 53-asokat a sivatagi feladatoknak megfelelően speciálisan alakították át. A nagy jet-tankok mellett a törzs mindkét oldalán levegő-szűrőket szereltek fel, ami a homokviharok miatt előrelátó döntés volt. A csapatok támogatására és a harckocsik elleni harcra az AH-1-es Cobrát alkalmazzák. A legtöbb Cobrát már modernizálták. Új elektronikai rendszerekkel, páncéltörő rakétákkal szerelték fel, megerősítették a pilótafülkét, és módosították a hajtómű gázkiáramlását. A Hughes MD 500 Defender - együtt a Cobrával - a libanoni háború legfélelmetesebb helikoptere volt. Az MD 500-as kisebb és könnyebb, mint a Cobra, a szűk völgyekben és a hegyi harcokban főleg halk hajtóműve miatt alkalmazzák.



18. ábra Izraeli AH-1 Cobra harci helikopterek

Az első F-16-osok, amelyek 1981-ben érkeztek Izraelbe, az A és a B modellek voltak. Az F-16B kétkormányos gép és hagyományos gyakorlógépként használják. A Spitfighter, a Mirage és az F-16-os a légierő fejlődési folyamatának a láncszeme. A Fighting Falcon, a Spitfighter és a Mirage szűk kabinja után valóságos felüdülést jelentett a pilóták számára. A Spitfighter a 40-es évek kiváló angol konstrukciója volt, a német „Messe 109”-es méltó ellenfele az égen. Alapfegyverzettel csak légi harcra volt alkalmas.

Az F-16-os Fighting Falcon negyedik generációs, egy hajtóműves vadászbombázó, a mikroelektronikai fejlődésnek köszönhetően napjainkban minden fegyverfajtát bevethet napszaktól és időjárástól függetlenül. Kategóriájának legsikeresebb repülőgépe, hiszen egyesíti magában a korszerű vadászgépek összes jó tulajdonságát, kitűnő a manőverező- és a légiharc-képessége, nagy hatótávolságú és sokoldalú fegyverzettel szerelhető fel.

Az 1982-ben, az ötödik arab-izraeli háborúban (a Békét Galileának hadműveletben) az izraeli F-16-osok számos alkalommal lőtték le ellenséges repülőgépeket és támadtak földi célpontokat – veszteségek nélkül (Izrael napjainkig ötször rendelt belőle).

2006 nyarán, a hatodik arab-izraeli háborúban, a Libanon és a Gázai övezet felett végrehajtott hadműveletben is F-16I-k vettek részt. 2007. szeptember 6-án pedig – nagy valószínűséggel – F-16I-k robbolták le Szíriában a Dejr-ez-Zór tartományban lévő katonai komplexumot. 2008 decemberében pedig döntő szerepet játszottak a gázai légitámadásban az F-16-osok korszerűsített változatai, az F-16I-k. A korszerűsítéseket – több Európában állomásozó alakulat bevonásával - az Amerikai Légierő Hill légierő-bázisán végzik. Izraelben az ACE-t (Avionics Capabilities Enhancement) program - melyet az Izraeli Aircraft Industries cégcsoport dolgozott ki – keretében végeznek átépítéseket.



19. ábra Az Izraeli Légierő felségjele egy F-16-oson

Az IAI LAVI (*Fiatal Oroszlán*) egy szuperszonikus, negyedik generációs, egyhajtóműves könnyű vadászrepülőgép, melyet Izraelben fejlesztettek ki az 1980-as évekre, a Kfir repülőgépek leváltására, elsősorban a nagyobb teljesítményű és drága F-15 és F-16 repülőgépek kiegészítésére, egyszerűbben és nagyobb mennyiségben gyártható csapásmérő repülőgépnek. A repülőgép tervezési megoldásai a két repülőgép elegye: míg a törzs első része, a függőleges vezérsík és a levegő-beömlőnyílás egyértelműen az F-16-oséra hasonlít, a deltaszárnyak és a kacsaszárnyak a Mirage III-at és a belőle kifejlesztett Kfirt idézik. A LAVI az izraeli repülőtervezők és repülőgyártók tudásának csúcsterméke. Prototípusa a legmodernebb technikával készült, és kétségkívül a világ egyik legkorszerűbb vadászgépe. A LAVI-t már a 1120-as haj-

tóművel látták el, azaz ugyanolyan gázturbinával, mint a Super Phantomot és az F-18-as Hornetet. A gép „fly-by-wire” rendszerrel irányítható, egyaránt alkalmas szárazföldi célok leküzdésére, felderítésre és légi harcra.



20. ábra IAI LAVI – kétüléses

A határokhoz közeli területek felügyeletére és felderítésére távirányítású repülőgépeket is használnak. A rádió-irányítású repülőgépeket felszerelték videokamerával és egy adóval is, így az adatokat folyamatosan küldi értékelésre az irányító-központokba. A felderítési feladatokon kívül az RTV arra is alkalmas, hogy segítségével koordinálják a földi akciókat. A „repülő szem” előnye, hogy olcsó, könnyű kezelni, és mindenkor valós képet ad a bevetési övezetekről.

Mint a legtöbb légi flotta, az Izraeli Légierő is képes a gépeit a levegőben újra tölteni. Ezzel nagyobb hatótávolságot biztosít számukra. Két rendszert használnak. Az első a csöves, kosaras módszer, amely főleg a Phantomok és a Skyhawkok utántöltésére alkalmas. Terveztek egy másik szerkezetet is. Mind a KT 135-ösöket, mind a Boeing 707-est felszerelték egy mozgatható merev csővel. A kezelője a műveletet a tanker belsejéből, videokamera segítségével irányítja. A légi utántöltésnek ezt a módját az F-15-ösöknél és az F-16-osoknál alkalmazzák. Ezen túlmenően az A-4-eseknek is van egy utántöltésre alkalmas testvére. Ezzel az A-4-es képes egy másik Skyhawkot a levegőben feltölteni. A rendszer előnye, hogy tetszőleges mozgékonytávolságot biztosít, és nincs szükség az utántöltéshez a nagy tankerekre.

Izrael szüntelen fenyegetettségnek van kitéve, elsősorban palesztin, iraki, szíriai és újabban iráni részről. Ez pedig megköveteli a haderő folyamatos fejlesztését, melyek során alapvetően ezeket a fenyegetéseket veszik figyelembe. Például a már meglévő USA-beli Patriot légvédelmi rakéták mellett további saját fejlesztésű Arrow-2 típusú rakétaelhárító eszközöket állítanak rendszerbe a Scud rakéták ellen.

A 2012-es izraeli tervek között szerepel, hogy a már meglévő 50 darab AH-64 Apache helikopterek modernizálása mellett azokat AH-64D Longbow verzióra építik át, ezek közül három modernizálása már el is kezdődött a Boeing üzemében és 2012 végére meg is érkeznek Izraelbe.

További terv a Sikorsky CH-53 típusú szállítóhelikopterek modernizálása is, melynek eredményeként ezek a forgószárnyasok akár 2025-ig is üzemben tarthatók és bevetethetők.

Meg kell említeni a pilóta nélküli járművek, az UAV-ok fontosságát. Ezeknek az eszközöknek az elterjedésében igen nagy szerepe volt az információtechnológiai forradalomnak, a számítógépes hálózatok terjedésének, sebességük, gyorsaságuk, komplexitásuk rohamos növekedésének és a miniatürizáció rohamos fejlődésének (pl. nano-technológia). Továbbfejlesztésük eredménye többek között az UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle), az UGV



(Unmanned Ground Vehicle), a távirányítású bomba, az ALV (Autonomous Land Vehicle), melynek a navigációs és útkereső képessége rendkívül fejlett. A fejlesztések folyamatosak és napjainkban már az Izraeli Légierőnél sem csak kísérleti egységként vannak jelen, hanem rendszeresített egységekként.

A pilóta nélküli eszközök gyártása Izraelben az Israel Aerospace Industries-nál folyik. Például Oroszország is tőlük rendelt 2009-ben Bird-Eye 400 mini UAV-kat és Searcher MK2 közepes hatótávolságú UAV-kat.

A közelmúltban – az izraeli védelmi minisztérium nyilatkozata szerint – Izrael állam 30 darab M-346 Master típusú kiképző-harci repülőgép beszerzését tervezi légiereje számára az olasz Alenia Aeromacchi cégtől. A repülőgépek ellentételezéseként Izrael egymilliárd dollár értékben ajánlott fel haditechnikai eszközöket. Az olasz repülőgépek az Izraeli Légierőben több mint negyven éve rendszerben álló A-4 Skyhawk és Fouga CM.170 Magister (IAI Tzukit) flottát fogják váltani. Az olasz repülőgépek szállítása várhatóan 2014-ben kezdődhet meg.

Az Izraeli Légierő és a Haditengerészet közös megegyezés alapján üzemidő-hosszabbítást hajt végre IAI 1124N Sea Scan típusú járőr-repülőgépein. A Sea Scan az IAI 1124 Westwind business jet alapján készült, a szükséges átalakításokat az Elta Systems (az IAI leányvállalata) végezte. A típus üzemeltetését a légierő végzi, a pilóták is annak kötelékéből kerülnek ki, ám a fedélzeten megtalálhatók a haditengerészet specialistái is.

Az Izraeli Légierő mindig tudott újat nyújtani. A harci fogások széles tárházát alkalmazva valami váratlan, valami meglepetésszerű a fegyveres küzdelemnek már a kezdeti szakaszában a légi fölény kivívását jelenti, amely a légi uralomhoz vezet.

Izraelnek jelenleg nem 360 fokos hadviselésre kell felkészülnie. Egy ilyen hadviselést a hátsó ország hiánya, a korlátozott emberi erő és technikai eszközök száma miatt nem tudna viselni. Ezért a jól bevált és alkalmazott koncepció, a rövid időtartamú, de erőteljesen koncentrált csapásmérés a jellemző. Ennek a fő hadviselési ereje a légierő, amely egyetemlegesen alkalmazza a felderítés, az adatszolgáltatás és az elektronikai hadviselés legkorszerűbb eszközeit.

Mindezek is igazolják, hogy az Izraeli Légierő folyamatosan fejleszt, újít, modernizál, technikai felkészültsége a legmagasabb szintű és egységei bármikor, bárhol bevetethetők, bizonyítva, hogy az Izraeli Légierő a továbbiakban is őrzi és megvédi országa légterét.

A cél: a leggyorsabban odaérni, a legnagyobb csapást mérni, majd visszatérni.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] BIMBÓ J., A légierő a háborúban, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1973.
- [2] BIMBÓ J., A légvédelem harcászata, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983.
- [3] BAXTER, S., Arab-Israeli War October 1973, Lessons Learned, Lessons Forgotten, Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1994.
- [4] COOPER, G. H., Operational Art in the 1973 Arab-Israeli War (An Egyptian Perspective), Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1997.
- [5] DOROSKI, C. F., The Fourth Arab-Israeli War: A Clausewitzian Victory for Egypt in Seventy-Three?, Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1995.
- [6] HALLER, J. JR., Flexible Air Strategy and the 1973 October War, 1995.
- [7] LOEFSTEDT, A. B., Yom Kippur 1973: An Operational Analysis of the Sinai Campaign, Naval War College, Szakdolgozat, Newport, 1996.
- [8] THE MILITARY BALANCE 1973-1974, The International Institute for Strategic Studies, London, 1973.
- [9] O'BALLANCE, E., No Victor, No Vanquished: The Arab-Israeli War 1973, Presidio Press, Novato, 1978.
- [10] OSZETZKY, T., Arab-izraeli háborúk 1948-1982, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1984.
- [11] Israeli Air Force. <http://www.iaf.org.il/34-en/IAF.aspx>. Retrieved October 12, 2011.
- [12] AIR International 1994 július, pp. 15–17, 20.
- [13] <http://crowland.uw.hu/images/csata/szuez.html>
- [14] Kővári László: A MiG–21PF. In: Top Gun 1997/8, 30–33. – típusismertető
- [15] Flight International. December 13, 2011. [http://www.flightglobal.com/airspace/media/reports\\_pdf/world-air-forces-2011-2012-90190.aspx](http://www.flightglobal.com/airspace/media/reports_pdf/world-air-forces-2011-2012-90190.aspx). Retrieved December 13, 2011.
- [16] Eagle World News, 3 January 2009
- [17] Fox News. August 7, 2006. <http://www.foxnews.com/story/0,2933,207259,00.html>.
- [18] Mirage III. <http://FAS.org>
- [19] Advanced F-16 Block 50/52/60, 2008.07.31.
- [20] F-16C/D, Block 40/42 – F16.net
- [21] <http://htka.hu/2012/01/19/izrael-is-a-master-mellett-dontott/>
- [22] Izrael kontra Hamász - óráról órára HVG.hu

Kosztolányi Tamás<sup>1</sup> – Kovács Gábor<sup>2</sup> – Kubovics Balázs<sup>3</sup> – Makkay Imre<sup>4</sup> – Papp Tímea<sup>5</sup>

## ROBOTREPÜLŐGÉPEK REDUNDÁNS RENDSZEREI<sup>6</sup>

A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási programban jelentős számú autonóm robotrepülőgép alkalmazását tervezzük. A repülések biztonsága érdekében a fedélzeti és a földi irányító rendszer fontos elemeit többszörös tartalékkal kell működtetni. A normális és a meghibásodás esetén érvénybe lépő működtetést egy intelligens döntéstámogató rendszer biztosítja. A hibajelzések hatására automatikusan bekapcsolódó tartalékok és az emberi döntést/beavatkozást igénylő eljárásokat a tervezés során figyelembe kell venni. A kutatások jelen fázisában még nem állnak rendelkezésre üzemeltetési tapasztalatok, ezért a szigorúbb – és egyben költségesebb – megbízhatósági követelményekkel számolunk.

### REDUNDANT SYSTEMS OF ROBOT AIRCRAFT

The „Increase Aviation Safety - Bird Scaring Robot Aircraft” research program is planned a significant number of autonomous robotic aircraft operation. For safety of the flight the board and the ground control important systems should be multiple operated. The normal operation and the procedures is applicable in case of failure of an intelligent decision support system. The error messages are automatically result of joining the reserves and the human decision / intervention procedures that require a series of planning must take into account. The present phases of the research are not yet available operating experiences, so the more stringent - and also more expensive - expect reliability requirements.

## BEVEZETÉS

A fedélzeti és földi egységek a robotrepülőgépeknél is ki vannak téve a technikai, emberi és környezeti hatásoknak, melyek a működésük során az eredetileg tervezett folyamatok helyett valami eltérőt produkálnak – a parancsoknak nem engedelmessé válnak, önálló tevékenységbe kezdenek, vagy éppen sehova nem mozdulnak. Amint az ember vezette repülés szabályait vérrel írták, a robotrepülésben a sok törés, kényeszerleszállás, sőt károkozás adja a tanulságot – minden fontos funkcióra legyen „helyettes” is kijelölve (beépítve). Amint a sok száz utas életéért a fő- és a másodpilóta küzd a meghibásodott utasszállítón, a robotrepülőgépen sem szabad egyetlen rendszerre feltenni a küldetés sikerét (és költségét, ha más kellemetlenség is származik egy nemkívánatos eseményből).

A redundancia azt jelenti, hogy ha minden előírás szerint működött, akkor vittünk magunkkal egy haszontalan terhet – olyan berendezéseket, amelyek csak a primer rendszer meghibásodá-

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, rep.szolnok@gmail.com

<sup>2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kanonenvogel@freemail.hu

<sup>3</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kuboo1112@gmail.com

<sup>4</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>5</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, oh.papptimi@gmail.com

<sup>6</sup> Lektorálta: Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

sa esetén aktivizálódna. Ha az üzemelés során szükség volt a második vonal bevetésére, akkor pedig (a mélyreható tanulságok levonásán túl) feltehetően „megúsztuk” egy eseményt. A túlbiztosítás mindig költséges – hogy megéri-e azt a védendő fedélzeti és földi berendezések feladata, fontossága szabja meg.

A NKE HHK KÜLI Katonai Repülő és Légvédelmi tanszék UAV laboratóriuma megfelelő környezetet biztosít az oktatók és hallgatók számára a kutatásokhoz és kísérletekhez. A nagy megbízhatóságú robotrepülőgépes rendszer elméleti kidolgozása, egyes elemeinek megépítése és kipróbálása – az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” támogatását is élvezzi.

Ez az írásmű összegzi a robotrepülőgépek egyes elemeivel kapcsolatosan született publikációink tanulságait. [1][2][3][4][5]

## REDUNDANCIA MINT A TÖBBSZÖRÖZÖTT BIZTONSÁG ESZKÖZE

A robotrepülőgépek fedélzeti és földi rendszereiben a rendeltetésszerű működés szempontjából létfontosságú eszközöket, eljárásokat, programokat tartalékkal kell tervezni és üzemeltetni. A nagy értékű hasznos terhet szállító, veszélyes-, embertömegek feletti térben repülő, különösen fontos feladatra küldött légi járművek számára a biztonságot növelő többszörözött – legalább kettőzött – fedélzeti és földi irányító rendszer elemeket kell alkalmazni.

A működés szempontjából kiemelt fontosságú rendszerek:

- energiaellátás;
- meghajtás;
- avionika;
- navigáció;
- fel- és leszállító rendszer;
- repülésirányítás;
- kommunikáció.

A repülés biztonságát nem, de a feladat eredményes végrehajtásának valószínűségét növelik a redundáns hasznos teher (payload) elemek.

### Energiaellátás

A fedélzet villamos energiával való ellátása különösen kritikus a robotrepülőgépek esetében, mert a vezérlő- és a működtető rendszerek túlnyomó többsége elektromos meghajtású. Az egyéb energiaforrások is – belső égésű motorok esetén a folyékony, vagy gáznemű üzemanyag, pneumatikus működtetőknek sűrített levegő – megfelelő tartalékkal kell, hogy rendelkezésre álljanak.

A fő energiaellátó rendszer meghibásodása esetén – a repülőgéptől és a feladattól függően – azonos, vagy csökkentett teljesítményű tartalék energiaforrást kell bekapcsolni. Az utóbbi a feladat megszakítása és hazatérés (vagy kényszerleszállás) energiaszükségletét fedezi.

Az elektromos hálózat zavara esetén a tartalék viszonylag egyszerűen bekapcsolható (a robotpilótáknál a szünetmentességet biztosítani kell), de a belsőégésű motor levegőben való újrain-

dítása – ha a fő üzemanyag ellátó rendszer okozta a leállást – nehézségekkel járhat.

A fedélzeti villamos energiát a kis- és a nagyáramú fogyasztók külön forrásról kapják – a terhelés hatására bekövetkező feszültségingadozást elkerülendő.

## **Meghajtás**

A meghajtó rendszer rendeltetés szerinti működése – legyen az elektromos, vagy folyékony üzemanyagú – a repülés folyamán kulcsfontosságú. A meghibásodott hajtómű a repülőgépre nézve kényszerhelyzetet jelent, amikor nem a tervezett környezetben és nem hagyományos módon érhet földet.

A több hajtóművel rendelkező légi járművek egy-egy motor kiesését a meglévők nagyobb terhelésével kompenzálni tudják – bár az összteljesítmény általában így is csökken. Robotrepülőgépek esetén is célszerű az osztott hajtómű alkalmazása, de elektromos segédhajtómű bekapcsolása is lehetséges.

## **Avionika**

A robotrepülőgép a fedélzeti elektromos vezérlő áramkörök meghibásodása esetén a repülési helyzetből egy irányítatlan lezuhanáshoz vezető pályára kerülhet. Ezt elkerülendő a fedélzeti avionikai elemek megkettőzése (többszörözése) és a meghibásodást kezelő logika beépítése szükséges. Gyakori a különböző mérőműszerek érzékelőinek a – befagyás, elszennyeződés, sérülés következtében jelentkező – hibája. A repülési paraméterek – sebesség, magasság, irány – mérésére több, lehetőleg eltérő eljárással dolgozó rendszer eredményeinek összevetésével működő avionikát kell alkalmazni.

A repülési magasság mérésére barometrikus, GPS, rádió és akusztikus eljárással működnek berendezések. A légsebességet a torlónyomás, illetve a szélhatással kompenzált GPS sebesség alapján lehet mérni. Az irányt a mágneses iránytű, a GPS és a földi irányadók (VOR, NDB, DME, TACAN, ILS) összevetésével lehet meghatározni. Az utóbbiak a robotrepülőgépeken nem jellemzőek – a méretük, tömegük miatt sem.

## **Navigáció**

A navigációt a robotrepülőgép számára a GPS vevők adta koordináták, sebesség és magasságadatokat biztosítják. A GPS vétel – nyitott térben – ma már 8-10 műhold átlagos megjelenésével folyamatosnak mondható. A zavarás lehetősége fennállhat nagy energiájú, hasonló frekvenciájú berendezése közelében. A GPS vevők gyártói eltérő algoritmussal működő berendezéseket forgalmaznak – a kapott eredményeknek viszont meg kell egyeznie. A GPS helyes működését ezért több, lehetőleg különböző típusú vevőberendezés jelei alapján kell elfogadni, megerősíteni.

## **Fel- és leszállító rendszer**

A robotrepülőgépek számára (is) a fel és leszállás jelenti a legnagyobb kihívást. A helyből felszállni képes repülőgépeknek nincs szükségük bonyolult fel- és leszállító rendszerre, a merevszárnyúak pedig több eljárásból válogathatnak. A saját futóművel talajról felszállni, és ugyanígy kerékre leszállni – a „nagyrepülő” megoldás. Ha erre nincs lehetőség, akkor az indítás történhet segédberendezések igénybevételével – mint katapult, gumikötél, vagy kézből



eldobás. A lehetséges eljárást a robotrepülőgép tömege és a felszálláshoz szükséges sebessége is nagyban befolyásolja – 7 kg-nál nehezebb gépeket kézből már nem indítanak.

A leszállás végrehajtható automatikusan, vagy távirányítóval az adott területre irányítva (kerékre, vagy hasra). Ha ez nem lehetséges, akkor ejtőernyővel, vagy légzsákra esve lehet a csilapított földet érést megoldani. E két utóbbi eljárás a lehetséges redundáns elem a hagyományos kerékre vagy hasra leszállni képes gépeknél – meghibásodás esetén a vészleszállás végrehajtására.

## Repülésirányítás

A földi repülésirányító rendszer – bár nincs kitéve a levegőben lévő repülőgépet fenyegető veszélyeknek – a küldetés sikerének egyik kulcsfontosságú láncszeme, ezért a redundancia igénye itt is jelentkezik. A bevetés tervező és irányító munkahelyek megkettőzése az alapvető követelmény – ami nem csak a berendezésekre, hanem az operátorokra is vonatkozik. A munkahelyek megkettőzése mellett a hosszabb bevetéseken az irányítási feladatok zökkenőmentes átadása/átvétele is rejt műszaki és emberi kihívásokat. 2006 áprilisában egy Predator a mexikói határnál ilyen figyelmetlen helycsere miatt zuhant le. A másodpilóta konzolján az üzemanyag csap a felszállás előtti zárt állapotban maradt, és amikor repülés közben átvette az irányítást a motor rögtön leállt – mire felfedezte az okot, a gép már a földre került. [6]



1. kép Ez a Predator egy kapcsolóállás áldozata lett<sup>7</sup>

Az irányító konzolok megkettőzése, tehát önmagában nem elegendő, de szükséges – éppen a műszaki meghibásodások esetére, amikor teljes értékű helyettesítésre van szükség. Ugyanígy kettőzött, szünetmentes áramforrás kell, hogy biztosítsa a földi rendszerek táplálását.

<sup>7</sup> <http://lemonodor.com/archives/001391.html>

## Kommunikáció

A földi repülésirányító rendszer – a robotrepülőgépen kívül – kapcsolatot tart a légtér forgalmáért felelős szolgálatokkal és a feladatokat szabóval. Mindhárom irányt fokozott biztonsággal, folyamatosan fenn kell tartani.

A robotrepülőgépekkel legalább két független rádiócsatornát építenek ki, a másik két irányban is több úton – vezetéken, rádión, telefonon – biztosított az összeköttetés.

## A MICROPILOT REDUNDÁNS MEGOLDÁSAI

Az 1995 óta működő kanadai MicroPilot [7] a világ egyik legismertebb robotpilóta-gyártó cége. A néhány száz grammos repülő modelltől a gázturbinás légicélig 65 országban több mint 750 alkalmazó használja az eszközeit. Népszerűek az iskolákban, egyetemeken, kutató intézetekben, a gazdaság különböző területein, de a védelmi szféra is szép számmal használ robot légi járművein MicroPilot berendezéseket.

A biztonságot növelő redundáns elemek megjelennek a MicroPilot berendezéseiben. A legfontosabb érzékelő-, irányító- navigációs feladatokat átfedéssel, tartalék eljárásokkal biztosítják be – ezzel is bizonyítva a fokozott követelményeknek való megfelelésüket.

### Robotpilóta

A MicroPilot MP21283X [8] robotpilótája három teljesen egyenrangú egységet tartalmaz egy áramköri lapra integráltan. A három, független szenzorokkal működő robotpilóta adatai egy központi “szavazó” egységbe kerülnek, amely folyamatosan értékeli a bejövő értékeket, a leginkább összezsengőket fogadja el, és ezeket adja ki a végrehajtó elemeknek.



2. kép A MicroPilot MP21283X háromszoros biztonságú robotpilótája<sup>8</sup>

A MicroPilot MP2128<sup>3X</sup> –t az igazán fontos, veszélyes, költséges alkalmazásokra javasolják. Az MP2128<sup>3X</sup> három HELI robotpilótát tartalmaz, sima átmenetet biztosítva a robotpilóták, ugyanígy a kommunikációs csatornák váltása közben.

<sup>8</sup> <http://www.micropilot.com/products-mp21283x.htm>

A robotpilóták programozása szinkronizáltan, 11 soros (RS232, RS485) porton keresztül történik. Mindegyik robotpilóta független táplálású, 8 nagyáramú meghajtót és összesen 16 szervót (10 db 11 bites és 6 db 10 bites) tud vezérelni.

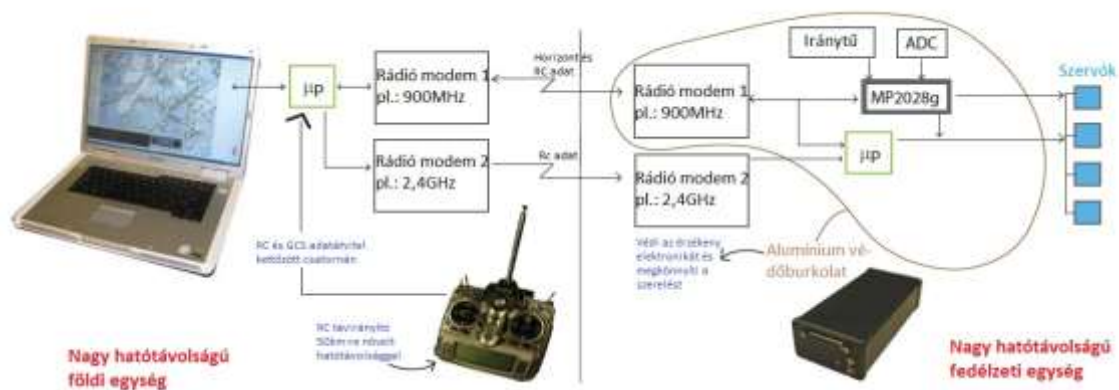
Kettős – Ublox és Novatel – GPS-el rendelkezik. Az éppen irányító GPS vevő 20Hz, a második, harmadik 4Hz frissítésű. 1000 fordulópontot tud kezelni, a tömege (GPS antennák nélkül) 859 gramm. Áramigénye 12V-ról 750 mA. A HORIZON<sup>mp</sup> földi irányító állomás beépített szimulátorral „hardver-hurokban” képes működni.

Az adatcsatornán 24 féle információ küldhető. A lesugárzott video képre 16 féle – felhasználó által meghatározott – fedélzeti adatot lehet rámontírozni.

## Rádiókommunikáció

A MicroPilot a repülőgép fedélzetére teljes duplex adatátviteli berendezést ajánl. A 2,4 GHz-es ipari csatornán működő berendezéssel, irányított antennával akár 20 km-es hatótávolság is elérhető. A földi állomás irányított antennával követi a repülőgépet, ami megnöveli a hatótávolságot és az adatátvitel biztonságát – különösen a gyakran manőverező, nagy bedöntésű fordulókat végrehajtó légi járművekkel. Az átviteli sebesség 2400 - 19600 baud között választható – a felhasználó igényeinek megfelelően.

A rádiókapcsolat biztonsága növelhető, ha ugyanarra a feladatra több csatornát párhuzamosan tudunk üzemeltetni. A MicroPilot ennek az igénynek a MP 2128<sup>g2</sup> legújabb, negyedik generációs robotpilótákat felsorakoztató fedélzeti és Horizon<sup>mp</sup> földi irányító rendszerrel felel meg. A rádiózavarok kizárására szórt spektrumú rádiócsatornákat, illetve kettőzött duplex adatcsatornákat ajánlanak. Az MP2028 LRC/2128LRC (Long Range Communication) változatokhoz két hullámtartományban – pl.: 900 MHz és 2,4 GHz – működő rendszert kínálnak. [9] Az 1W-os adóteljesítmény a hatótávolságot 50 km-re növeli. A kettőzött rádiócsatornák – a fedélzeten a robotpilótával együtt – egy-egy kompakt egységet alkotva a professzionális felhasználók számára ideális megoldást jelentenek.



1. ábra A MicroPilot MP2028 LRC/2128LRC földi és fedélzeti egysége<sup>9</sup>

<sup>9</sup> <http://www.micropilot.com/products-mp2128lrc.htm> a szerzők fordítása

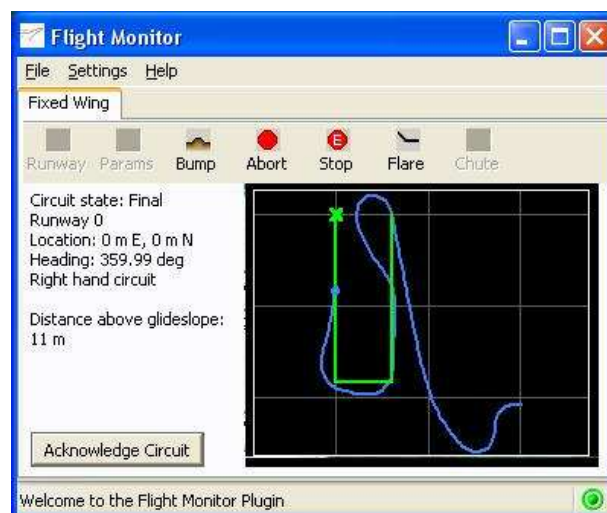
## A MicroPilot automatikus fel- és leszállító rendszere

A MicroPilot fedélzeti robotjai – a Horizont földi irányító állomás programjával együtt – biztosítják a teljesen automatikus fel- és leszállás műszaki feltételeit.

A felszállás történhet a futópályáról, kerékről, az autó tetején elhelyezett indító állványról, katapult, vagy gumikötél segítségével illetve kézből eldobva. A felszállást a légsebesség és a GPS alapján mért sebesség előírt értékénél engedélyezi a fedélzeti automatika. A futópályáról végrehajtott automatikus fel és leszálláshoz akusztikus magasságmérő is szükséges.

A felszállási parancs kiadható az RC távirányítón 4 másodpercig teljes tolóerőt állítva, a repülőgépen elhelyezett „START” kapcsoló 4 másodperces nyomva tartásával, vagy a katapult kioldójával. A megfelelő sebesség elérése után a fedélzeti rendszer autonóm üzemre kapcsol és megkezd a feladat szerint a repülőgép irányítását. Ha a repülőgép valamilyen oknál fogva nem gyorsult fel az előírt sebességre, akkor a robotpilóta a felszállást nem engedélyezi – megszakítja.

A felszállás és a földet érés helye (magassága, orientációja) eltérhet egymástól. Az útvonalról visszatérő repülőgép egy iskolakör második (hátszeles) szakaszához csatlakozik és a rövid (keresztseles) fal után a megadott pályairányon lesüllyed a repülőtér megadott szintjéig.



3. kép A MicroPilot Horizon leszállási paramétereket előkészítő képernyője<sup>10</sup>

A MicroPilot a repülés közbeni meghibásodásokra előre megírt forgatókönyvvel rendelkezik:

1. az irányító szervek meghibásodása – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;
2. repülésképtelen állapot – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;
3. GPS jel elvesztése – vár az előírt ideig, ha nem áll helyre a./ vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása; b./ süllyedés a talaj szintjéig (motort nem leállítva, hátha közben visszaáll a GPS vétel);
4. a hajtómű meghibásodása – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;
5. lecsökken telepfeszültség – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;
6. RC távirányítás megszakad – „repülj haza” üzemmód;
7. adatcsatorna megszakad – „repülj haza” üzemmód (két perces várakozást követően).

<sup>10</sup> <http://www.micropilot.com/products-horizonmp.htm>

Ez utóbbi üzemmód megfelelő működését a földi előkészítés/programozás során ellenőrzik.

A „repülj haza” üzemmódban a felszállóhely felé indul el a repülőgép és – ha közben más parancs nem érkezik – megkezdí az előre programozott leszállási eljárást. Amint az RC távirányító, vagy az adatsatorna újból működik, a gép visszatér az előre programozott útvonal következő feladatára.

### MicroPilot magasságmérők

A MicroPilot három egymástól eltérő működésű magasságmérőt alkalmaz a fedélzeten. A magasságmérés pontossága földközében a fel és leszálláskor kerül az első helyre. A pálya szintjéhez mért magasság (QFE) szerint kell a talajérintés függőleges sebességét a lehető legkisebbre csökkenteni. Az akusztikus magasságmérő ezen az utolsó néhány méteren szolgál igen fontos adatokkal – ahol centiméterek jelentik a szabályzó kör számára a bemenő jel legkisebb egységét.



4. kép Az akusztikus magasságmérő antennája és adó/vevő berendezése<sup>11</sup>

Az akusztikus magasságmérő adó/vevő antennája piezoelektromos meghajtású fémmembrán, amelyiket a talaj felé nézve, a motortól minél távolabb, a szárny vagy a törzs megfelelő részére kell felszerelni úgy, hogy semmi ne árnyékolja a talaj felé haladó és a visszaverődő jeleket. Az adóvevő egység a MicroPilot AGL csatlakozóján keresztül kapcsolódik a fedélzeti egységhez – innen kap táplálást és a jelvezeték is ide csatlakozik.

Az akusztikus magasságmérő adatai szerint repül a gép amikor az előre beállított „aglLowThrottleSetting” érték alatt van a tolóerő – ez tipikusan a leszálláshoz közelítve a siklópálya megtörésekor kerül beállításra. Ugyanígy a felszállás előtt is, mindaddig, míg a tolóerő szabályzó a fenti értéket nem éri el.

A MicroPilot robotpilóta egysége a barometrikus magasságot nyomásmérő érzékelő jele alapján számolja – egyeztetve a GPS vevő magassági adataival. A légsebesség mérésére is ugyanilyen érzékelőt alkalmaz – a torló nyomást szilikon csövön bevezetve.

A barometrikus magasságmérő által mutatott nyomás a helyi időjárás változását is követi, ezért időnként kalibrálásra szorul. A GPS-ről vett pillanatnyi magasságadatok ugyan „dobálnak”, de megfelelő szűrő algoritmussal ezek is szinten tarthatók és a referencia jelet innen származtatják – mert az nem időjárásfüggő.

<sup>11</sup> A szerzők felvétele



5. kép Az MP2028 alaplapja két nyomásmérő érzékelővel és a GPS vevővel<sup>12</sup>

A MicroPilot robotpilóták ezen kívül a háromdimenziós mágneses érzékelővel, gyorsulásmérővel és gyro stabilizátorral biztosítják a zavarmentes repülést. A PID szabályzókkal minden típusú merev és forgószárnyú repülő eszközre „testre szabott” értékek állíthatók be.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A robotrepülőgépeken – mint minden más légi járművön – elsődleges a biztonságos működés – akkor is, ha valamilyen műszaki meghibásodás, vagy akár kezelői hiba éppen ez ellen hat. A redundáns elemek beépítésével a kockázat nagymértékben csökkenthető – mindemellett azt is mérlegelni kell, hogy hol a határ, milyen feladatokra kell feltétlenül alkalmazni.

A robotrepülőgépek fedélzeti és földi egységeinek redundáns elemeire irányuló kutatásainkat a NKE HHK KÜLI Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék UAV laboratóriumában végezzük. A MicroPilot MP2028 alap és kibővített konfigurációja áll rendelkezésünkre, amit többféle hordozón tudunk üzemeltetni. Jelenleg a megfelelő redundáns elemek kiválasztása és összeintegrálása folyik. Ezt követi az autonóm fel- és leszállás, valamint a repülés közben bekövetkező meghibásodások szimulálása és a hazatérés rendszer működésének tesztelése. A tapasztalatokat, eredményeket tudományos fórumokon folyamatosan publikáljuk.

A kutatások és kísérletek a „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” témában a



**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

**Alprogram: Adatintegráció**

**Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitűeszközök alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai**

<sup>12</sup> A szerzők felvétele

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] KOSZTOLÁNYI Tamás, MAKKAY Imre Robotrepülőgépek indító-leszállító berendezései Repüléstudományi Közlemények 2012. április 12.(Kézirat)
- [2] KOVÁCS Gábor, MAKKAY Imre Robotrepülőgépek hasznos terhei Repüléstudományi Közlemények 2012. április 12. .(Kézirat)
- [3] MAKKAY Imre Robotrepülőgépes madárriasztó rendszer Repüléstudományi Közlemények 2012. április 12. .(Kézirat)
- [4] MAKKAY Imre, PAPP Tímea Robotrepülőgépek kommunikációs rendszerei Repüléstudományi Közlemények 2012. április 12. .(Kézirat)
- [5] KUBOVICS Balázs, MAKKAY Imre Robotrepülőgépek magasságmérő rendszerei Repüléstudományi Közlemények 2012. április 12. .(Kézirat)
- [6] <http://lemonodor.com/archives/001391.html>
- [7] <http://www.micropilot.com/>
- [8] <http://www.micropilot.com/products-mp21283x.htm>
- [9] <http://www.micropilot.com/pdf/lrc-drawing.pdf>



Kosztolányi Tamás<sup>1</sup> – Makkay Imre<sup>2</sup>

## ROBOTREPÜLŐGÉPEK INDÍTÓ-LESZÁLLÍTÓ BERENDEZÉSEI<sup>3</sup>

*A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási programban jelentős számú autonóm robotrepülőgép működik. A repülőgépek indítására és a feladat végrehajtása után a kijelölt leszállóhelyre való visszaérkezésre a megfelelő eszközt és eljárást kell alkalmazni. A repülés biztonsága érdekében több alternatív megoldást kell kidolgozni és az adott helyzetben a legmegfelelőbbet választani. Az írásműben az indító-leszállító berendezések elveit és eszközeit áttekintve egy többszörös biztonságot nyújtó rendszer tervét ismertetjük.*

### **ROBOT AIRCRAFT LAUNCH AND RECOVERY**

*The "Increase Aviation Safety - Bird Scaring Robot Aircraft" research program uses a significant number of autonomous robot aircraft for operation. The launch and after corresponding the task the recovery of aircraft at designated location requests appropriate device and procedure. The flight safety requests to develop number of solution and choose the right one. In this paper the principle of launch and recovery systems will be reviewing and one of the most secure will be described.*

## BEVEZETÉS

A robotrepülőgépek indító és leszállító rendszerei a gépet irányító pilóta utasításainak megfelelően, de hagyományos, repülőgép-fedélzeti jelenléte nélkül működnek. A földi irányító rendszer szakszemélyzete megtervezi a bevetéseket, végrehajtja a repülés előtti felkészülést, elvégzi a repülő eszközök és a földi állomás beprogramozását, irányítja a feladat végrehajtását, majd annak befejezésével elkészíti jelentéseit és az értékelést. A légi járművek indítását és leszállítását a földi irányító rendszer műszaki kiszolgáló részlege hajtja végre – a bevetést irányítók utasítására. Az indítás és a leszállítás a repülés legnehezebb feladata – ha már/még a „puha” levegőben van a repülőgép, aligha éri olyan megrázkódtatás, mint a fel-leszállás közben – a legtöbb sérülés ekkor történik. Az eljárások és a pillanatnyi körülmény együttesen képezik az esetleges baleset kockázatát, ezért a kiszámítható részét a lehető legnagyobb biztonsággal kell megtervezni.

Az indító és leszállító eljárások általános bemutatása után a Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék UAV Laboratóriumának kísérleti eredményeiről adunk tájékoztatást. A tanszéken több éve folyó kutatómunka egyik kiemelt területe a repülésbiztonság növelése, amely – az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” keretein belül – a madárütkezések veszélyének csökkentésére irányul. A polgári és katonai repülőterek környezetében a madárriasztást ragadozó madarak alakját és viselkedését utánozó robotrepülőgépekkel kívánjuk sikeresebbé tenni.

<sup>1</sup> Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, rep.szolnok@gmail.com

<sup>2</sup> Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu



A „robot-sasok” indítása és leszállítása rendszer egyik fontos szegmense – különös tekintettel a repülőtér légtérben való tevékenység biztonsági elvárásaira – ezért a tervezés során a lehetséges redundáns eszközöket és eljárásokat is számításba vesszük. A műszaki meghibásodásokat, időjárási jelenségeket, forgalmi konfliktusokat is kezelni képes indító és leszállító eljárásokat dolgozunk ki – számítva arra, hogy még ezekből is maradjon elegendő tartalék, ha valamelyik nem működne rendeltetésszerűen.

## ROBOTREPÜLŐGÉPEK INDÍTÓ ÉS LESZÁLLÍTÓ ELJÁRÁSAI

A robotrepülőgépek indító-leszállító berendezéseit több szempont szerint csoportosíthatjuk. Az alkalmazott indító-leszállító berendezések nagyban függenek a robotrepülőgépek felszállótömegétől, sárkányszerkezetének kialakításától, és az alkalmazási körülményeitől.

A nagy felszállótömeggel rendelkező robotrepülőgépek - ide sorolható a 3850 kg szerkezeti tömegű Global Hawk, vagy az 1980 kg szerkezeti tömegű Dark Star – indítása, és leszállítása a hagyományos módon történik kerékről, és kemény burkolatú pályáról, melynek hossza meghaladhatja az 1500 métert is.

Ez a fel- és leszállítási mód megtalálható több közepes felszállótömegű robotrepülőgépeknél például a 450kg-os Hermes 450 -nél, vagy a 136 kg tömegű RQ-6 Outrider -nél. Ezeknél a gépeknél a fel- és leszállópálya hossza 100-200 métertől, 600-700 méterig terjedhet, és méretük miatt akár közúton is kijelölhető.

Különleges indítási lehetőségként felhozhatjuk példának a TELEDYNE MODEL 350-es típust, ahol lehetővé tették a repülőről való légi indítást.



1. kép Teledyne légi indítása<sup>4</sup>

Közepes felszállótömegű robotrepülőgépeknél az indítás történhet ugyanúgy kerékről, de a fel- és leszállópálya lehet egy sima füves terület, vagy döngölt, tömör, elegyengetett földút is. Ezt a megoldást csak abban az esetben használják, ha a hajtómű teljesítménye elegendő a felszálláshoz.

A másik módja a levegőbe juttatásnak az indítókatapult alkalmazása. Itt egy hordozható me-

<sup>4</sup> [http://farm8.static.flickr.com/7189/6870985235\\_2e7ff9a3b5.jpg](http://farm8.static.flickr.com/7189/6870985235_2e7ff9a3b5.jpg)

rev fém állványt használnak, amiről a robotrepülőgépeket indítják. A cél, a felszálláshoz szükséges kinetikus energia átadása a repülőnek, ami történhet pneumatikus, hidraulikus, rakétaindítású (kémiai), illetve egyszerű gumiköteles módszerrel. A már említett kezdeti kinetikus energiát külső segédberendezéssel hozzák létre. Ez lehet egy kompresszor, amit adott esetben az indítóállványt szállító gépjármű hajt meg, vagy elektromotoros meghajtású, ami az autó akkumulátoráról is üzemeltethető.

Az indítókatapultos megoldás több előnnyel is jár a hagyományos kerékről történő felszállással szemben. Az utazó hajtómű lehet kisebb teljesítményű, ebből kifolyólag kisebb tömegű is, amivel a robotrepülőgépek hasznos terhelésének szabadítunk fel helyet. Továbbá nem kell az ideiglenes felszállópálya kijelölésével, és elkészítésével foglalkozni. Így a robotrepülőgépek felszállási helye csak az indítókatapultot szállító jármű terepjáró képességeitől függ, vagy ha kisebb méretű az indítóállvány, akár egy hátizsákban is elfér, majd a helyszínen összeszerelhető.

A módszer hátrányaként említhető az indítóállvány fejlesztési és gyártási költsége, illetve egy bizonyos felszállótömeg határon túl nem célszerű az alkalmazása. 100-200 kg körüli felszállótömegű gépekhez pneumatikus indítóállványt használnak, az ezt meghaladó tömegű gépekhez rakétaindítást használnak.

A rakétaindítás előnye, hogy a rakétán kívül nem igényel külső energiaforrást - mint például a kompresszor – és nagy a teljesítmény-tömeg aránya. Lehetővé teszi az úgynevezett „zéró katapultos” indítást, ahol egy igen nagy (közel függőleges) szögben lövik ki a robotrepülőgépet, így lehetővé válik a szűk, kis helyről való indítás. Ez történhet egy hajóról, vagy akár egy erdő tisztásáról. A rakéta, kiégése után, leválik a robotrepülőgépek törzséről, majd a gép a saját utazóhajtóművével repül tovább.



2. kép A képen egy BREVEL [2] rakétaindítása látható<sup>5</sup>

Hátránya a szállítás és üzemeltetés veszélye, valamint a rakéták tárolásának kockázata.

<sup>5</sup> <http://www.army-technology.com/projects/brevel/brevel12.html>

Itt meg kell említenünk az izraeli fejlesztésű MALAT RANGER-t, [1] ami mind pneumatikus indítóállványról, mind rakétaindítással felbocsátható, ami szélesebb körben használhatóvá teszi, mivel az alkalmazási körülményeknek megfelelően megválasztható az indító rendszere.

A 100 kg alatti felszállótömegű kisméretű robotrepülőgépeknél gumis katapultot is használnak, ahol a szükséges kinetikus energiát a gumi előfeszítésével állítják elő. Ez a felszállítási módszer rendkívül egyszerű és olcsó, de nagyobb tömegű robotrepülőgépek levegőbe juttatásához nem szolgáltat kielégítő teljesítményt. A gumi előfeszítése történhet kézzel, emberi erővel, vagy csörlő segítségével.

Az igen kis felszállótömegű gépeket (10-20 kg) általában kézből, emberi erővel indítják.

Ennek a hátránya, hogy legalább két embert igényel, mert a gép levegőbe jutásának pillanatában, illetve az azt követő pár másodpercben, nem áll irányítás alatt. Továbbá az eldobás technikáját is be kell gyakorolni.

Egyértelmű előnye viszont, hogy bárholnan, ahová emberek el tudnak gyalogolni, onnan indítható.

A robotrepülőgépek leszállításához használhatjuk a hagyományos kerékre történő leszállást – ez nagyobb, esetenként több tonnás gép leszállításának szinte a kizárólagos módszere -, itt már a kerékről való felszállásnál említett hátrányok ugyan úgy szerepet játszanak.

Kis és közepes tömegű gépeknél az érkezés történhet csúszótalpra, ami egy füves, homokos, többé-kevésbé egyenes terepszakaszon is véghezvihető.

Kis tömegű robotrepülőgépeknél szóba jöhet még az ejtőernyővel való leszállítás is.



3. kép A képen egy SPERWER látható ejtőernyős leszállítás közben<sup>6</sup>

A leszállításhoz számos segédberendezést használnak. A kerékre történő leszállásnál a leszállási úthosszt alapvetően kétféle módszerrel csökkentik. A kerekek fékezésével, illetve a repülőgép - hordozókon bevált fogóhorgos megoldással. A robotrepülőgépek felfüggesztésénél -

<sup>6</sup> Forrás: <http://www.european-security.com/index.php?id=1083>

mind kerekes, mind csúszótalpas megoldásnál – használnak hidraulikus csillapító tagokat, a talajról érkező mechanikai hatások mérséklésére.

Az ejtőernyős módszernél, a robotrepülőgépeket először átesés közeli sebességre lassítják a földet érési zóna közelében, ezt követően nyitják az ejtőernyőt. A földet érés előtti pillanatban sok esetben kinyitnak egy ütközést csillapító légpárnát.

Az ejtőernyős leszállítási mód nagy előnye, hogy nem igényel kiépített leszállópályát, de alkalmazási területét behatárolja, az érkezés helyének pontatlansága. Így csak szárazföldön használható megfelelően, hajókon kétséges. Hátrányaihoz tartozik, a nagyobb mechanikai sérülés veszélye és a bonyolultabb technikai megvalósítása.

Speciális leszállítási módja például a MALAT –nak a kifeszített fogóhálóba vezetés, ez csak kis felszállótömegnél használható, de lehetővé teszi a hajókon való alkalmazását, a leszállás kis helyigénye és a leszállási hely pontossága miatt.

Különlegességként meg kell említenünk az orosz fejlesztésű Ty-243 "Рейс-Д" [3] gépet, amely a földet érés előtti pillanatban fékező pirotechnikai patronokkal csökkenti a mozgási energiáját.

Sok korszerű robotrepülőgép például a MALAT RANGER is el van látva automatikus leszállást lehetővé tévő rendszerrel.

## A „MICROPILOT” INDÍTÓ- ÉS LESZÁLLÍTÓ RENDSZERE

Az 1995 óta működő kanadai MicroPilot [4] a világ egyik legismertebb robotpilóta-gyártó cége. A néhány száz grammos repülő modelltől a gázturbinás légicélig 60 országban több mint 600 alkalmazó használja az eszközeiket. Népszerűek az iskolákban, egyetemeken, kutató intézetekben, a gazdaság különböző területein, de a védelmi szféra is szép számmal használ robot légi járművein MicroPilot berendezéseket.

A MicroPilot több alternatívát kínál a robotrepülőgépek indítására és fogadására. A repülőgép fel és leszállását a fedélzeti robot képes – a kézi irányítástól egészen a teljesen automatikus fel és leszállásig – többféle módon végrehajtani.

### **MP CAT**

A MicroPilot pneumatikus katapultja összecusukható és 1,4 m-es hordtáskában elhelyezhető. Összes tömege 25 kg. A kompresszor autóakkumulátorról, vagy Makita Litium Ion akkumulátorról működik.

A telepített katapult 11°-os, 4 m hosszú pályával rendelkezik, maximálisan 20kg tömegű robotrepülőgép indítására szolgál. Maximális kilövési sebesség 26,5 m/s (7 kg-os repülőgép esetén).



4. kép. A MicroPilot MPCAT légsűrítővel működő katapultja<sup>7</sup>

A különböző méretű repülőgépekhez illeszkedő nyomástáblázatot és az ehhez tartozó kilövési sebességet az 1. Táblázat mutatja be. Az indító állvány összeszereléséről a honlapon videó található.<sup>8</sup>

NYOMÁS (bar)	TÖMEG (kg)			
	7	10	15	20
	INDÍTÁSI SEBESSÉG (m/s)			
3	15.9	13.3	10.9	9.4
3.5	17.7	14.8	12.1	10.5
4	19.4	16.2	13.2	11.5
4.5	20.9	17.5	14.3	12.4
5	22.5	18.8	15.4	13.3
5.5	23.8	19.9	16.2	14.1
6	25.1	21	17.1	14.8
6.5	26.3	22	18	15.6

1. táblázat A MP CAT nyomás, tömeg és sebesség adatai<sup>9</sup>

A katapult két személy által könnyen hordozható ládákban kerül szállításra. Az összeállítás

<sup>7</sup> <http://www.micropilot.com/products-catapult.htm>

<sup>8</sup> <http://www.youtube.com/watch?v=YNjFzp10OKc>

<sup>9</sup> <http://www.micropilot.com/products-catapult.htm> alapján a szerzők fordítása

külön számszámok nélkül néhány perc alatt végrehajtható és az indítás sem igényel különleges szakértelmet vagy rendkívüli biztonsági rendszabályokat. [5]

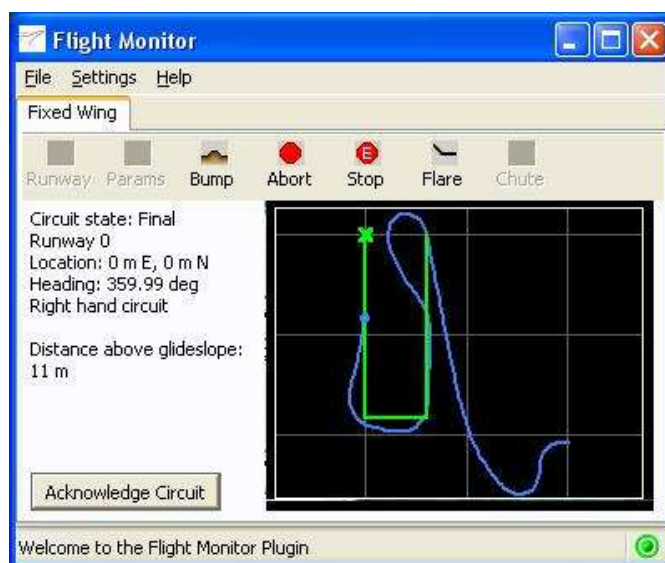
### A MicroPilot automatikus fel- és leszállító rendszere

A MicroPilot fedélzeti robotjai – a Horizont földi irányító állomás programjával együtt – biztosítják a teljesen automatikus fel- és leszállás műszaki feltételeit.

A felszállás történhet a futópályáról kerékről, az autó tetején elhelyezett indító állványról, katapult, vagy gumikötél segítségével illetve kézből eldobva. A felszállást a légsebesség és a GPS alapján mért sebesség előírt értékénél engedélyezi a fedélzeti automatika. A futópályáról végrehajtott automatikus fel és leszálláshoz akusztikus magasságmérő is szükséges.

A felszállási parancs kiadható az RC távirányítón 4 másodpercig teljes tolóerőt állítva, a repülőgépen elhelyezett „START” kapcsoló 4 másodperces nyomva tartásával, vagy a katapult kioldójával. A megfelelő sebesség elérése után a fedélzeti rendszer autonóm üzemre kapcsol és megkezdődik a feladat szerint a repülőgép irányítását. Ha a repülőgép valamilyen oknál fogva nem gyorsult fel az előírt sebességre, akkor a robotpilóta a felszállást nem engedélyezi – megszakítja.

A felszállás és a földet érés helye (magassága, orientációja) eltérhet egymástól. Az útvonalról visszatérő repülőgép egy iskolakör második (hátszeles) szakaszához csatlakozik és a rövid (keresztseles) fál után a megadott pályairányon lesüllyed a repülőtér megadott szintjéig.



5. kép A MicroPilot Horizon leszállási paramétereket előkészítő képernyője<sup>10</sup>

A MicroPilot a repülés közbeni meghibásodásokra előre megírt forgatókönyvvel rendelkezik:

1. az irányító szervek meghibásodása – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;
2. repülésképtelen állapot – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;
3. GPS jel elvesztése – vár az előírt ideig, ha nem áll helyre a./ vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása; b./ süllyedés a talaj szintjéig (motort nem leállítva, hátha közben visszaáll a GPS vétel);
4. a hajtómű meghibásodása – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;

<sup>10</sup> <http://www.micropilot.com/products-horizonmp.htm>

5. lecsökken telepfeszültség – vészleszállító rendszer (ejtőernyő) aktivizálása;
6. RC távirányítás megszakad – „repülj haza” üzemmód;
7. adatcsatorna megszakad – „repülj haza” üzemmód (két perces várakozást követően).  
Ez utóbbi üzemmód megfelelő működését a földi előkészítés/programozás során ellenőrzik.

A „repülj haza” üzemmódban a felszállóhely felé indul el a repülőgép és – ha közben más parancs nem érkezik – megkezdí az előre programozott leszállási eljárást. Amint az RC távirányító, vagy az adatcsatorna újból működik, a gép visszatér az előre programozott útvonal következő feladatára.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A robotrepülőgépek indító és leszállító eljárásai és műszaki megoldásai széles palettát mutatnak – a méretek, alkalmazási körülmények és a felhasználók igényeinek megfelelően. A technikai fejlődés már teljesen autonóm rendszerek használatát is lehetővé teszi – kiváltva ezzel a kezelő személyzet által bevitt emberi tényező nem kis kockázatát. Az automatikus repülőgép irányító berendezések gondoskodnak a repülés során bekövetkező nem várt események kezeléséről, a légi járművek lehető legkisebb veszéllyel járó földet éréséről.

A tanszéki UAV laboratórium eszközeinek keretein belül az autonóm fel és leszállást, valamint a repülés közben bekövetkező meghibásodások szimulálását és a hazatérés rendszer működését kívánjuk analizálni és a tapasztalatokat tudományos fórumokon publikálni.

A kutatások és kísérletek a „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” témában a



***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

***Alprogram: Adatintegráció***

***Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitárművek alkalmazásának Légitárműbiztonsági aspektusai***



---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] <http://www.israeli-weapons.com/weapons/aircraft/uav/ranger/Ranger.html>
- [2] <http://www.army-technology.com/projects/brevel/>
- [3] <http://samollet.ru/bespilotniki/okb-tupoleva/tu-243-reies-%E2%80%94-razvedivatelnie-bespilotnie-letatelnie-apparat-bpla.html>
- [4] <http://www.micropilot.com/products-mp2028-autopilots.htm>
- [5] <http://www.youtube.com/watch?v=YNjFzp10OKc>



Kovács Gábor<sup>1</sup> – Makkay Imre<sup>2</sup>

## ROBOTREPÜLŐGÉPEK HASZNOS TERHEI<sup>3</sup>

A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási programban jelentős számú autonóm robotrepülőgép működik. Az útvonalon repülő légi járművek a feladatuknak megfelelő felderítő, madárriasztó tevékenységet folytatnak. A robotrepülőgépek fedélzeti rendszereinek gépészeti és villamos tervezésekor a hasznos terhek tömeg és energiafelhasználási igényeit is figyelembe kell venni. Az írásműben – a kutatás jelenlegi fázisában ismert adatokra támaszkodva – az alkalmazásra tervezett hasznos terheket és az elhelyezés-, működtetés feltételeit ismertetjük.

### ROBOT AIRCRAFT PAYLOADS

*The "Increase Aviation Safety - Bird Scaring Robot Aircraft" research program uses a significant number of autonomous robot aircraft for operation. The planned flight path of aircraft is appropriate to surveillance and bird scare activity. The on-board aircraft systems need to be considered for mechanical and electrical design of the payload's mass and energy usage. The writing – according to information known in the current phase of research – is described the plant conditions for application and uses of loads.*

## BEVEZETÉS

A robotrepülőgépek a hadviselés szülöttei. Az ellenség és a hadszíntér megfigyelése mindig komoly jelentőséggel bír. Az információ kulcsfontosságú, hiszen az ellenséges haditechnikai eszközök és csapatok mennyisége, mozgása meghatározza az ellenük alkalmazott taktikát, stratégiát. A korai léggömbös felderítést mára felváltotta a repülőgépekkel való megfigyelés. Ezekben az eszközökön emberek ülnek, akiknek korlátozott a látásuk éjszaka vagy rossz látási viszonyok között, testi épségüket, pedig a környezeti hatások, és nem utolsósorban az ellenséges légvédelem fenyegeti. A pilóták kiképzése drága, elvesztésük nem megengedhető. A robotrepülőgépek - UAV<sup>4</sup>-k nyújthatnak megoldást a problémára.

A robotrepülőgépek értéke az élő ember megváltása a fárasztó, veszélyes, monoton munkától – amit így a küldetésekre magukkal vitt hasznos terhek végeznek el helyette. A robotrepülőgépek az aerodinamikai hordozóképeségük határáig terhelhetők – ez jóval kedvezőbb, mint ha még egy pilóta tömegével (kényelmével, biztonságával) is kellene számolni. A döntést hozó ember hiánya a fedélzeten bizonyos esetekben hátrányt okoz – ezt kell az előre programozott, vagy a földi irányítással „ad hoc” kezelt megoldásokkal pótolni.

A robotrepülőgépek programozása során számos kérdés merülhet fel, például: hogyan navigáljon a robot, ha már ott van kikeről/mikről adjon információt, ha a feladat úgy kívánja, akkor

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kanonenvogel@freemail.hu

<sup>2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Palik Máttyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

<sup>4</sup> UAV – Unmanned Aerial Vehicle – Pilóta nélküli légi jármű

kire mérjen csapást, hogyan vezessen rá tüzet, milyen fegyverzettel pusztítson?

Megannyi kérdésre nem lehet egy ilyen írásműben választ adni, ezért néhány fontosabbnak ítélt gondolatot fogunk bővebben tárgyalni. Szó lesz a képalkotással működő eszközökről, az elektronikai adattovábbítás és ellentevékenység eszközeiről, egyes pusztító eszközökről és kiegészítő információkat szolgáltató felderítő-megfigyelő eszközökről.

Munkánkhoz a tanszéken több éve folyó kutatómunka eredményei és az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” adtak megfelelő támogatást.

## HASZNOS TERHEK ROBOTREPÜLŐGÉPEK FEDÉLZETÉN

### Robotrepülőgépek alkalmazási körülményei

Az ellenség a csapatait álcázva mozgatja kihasználva az éj sötétjét, vagy vizuális álcákkal igyekszik megnehezíteni a felderítés hatékonyságát. Olyan eszközök kerültek alkalmazásra, amikkel a robotrepülőgépek sikeresen leküzdhetik céljaikat. Az első feladat a célterületre jutás – hogyan navigáljon a robot, miről adjon információt.

Vegyük sorra a navigációs eszközökkel szembeni követelményeket a teljesség igénye nélkül: Fontos feladat a megfelelő repülési profil kiválasztása a robotrepülő számára. Ennek automatizáltsága érdekében olyan szoftverre van szükség, mely figyelembe vesz több változót. Lényeges a hat szabadságfokú térben "gondolkodás". Legyen képes önállóan végrehajtani alapmanővereket, mint a kör, vagy a nyolcas lerepülése. A gépre ható terhelést típusonként határozza meg, mert nem ugyanazt bírja ki a Skylark mint egy Globhawk típusú robotrepülőgép. A repülési profil optimalizált legyen, számoljon esetleges akadályokkal, mint domborzat vagy mikroklíma. Az útvonalat a hasznos teher figyelembevételével válassza meg, a lehető legtávolabb végezze a munkáját, ahol a szenzorok még 100%-os hatásfokkal üzemelhetnek (egy 10 km hatótávú szenzor esetén ne repüljön 2 km közelségbe). Tegyen útvonalajánlást a felhasználó számára számítva az üzemanyag, illetve akkumulátor feltöltöttségével. Hogyan viselkedjen, ha a robot kirepül az adó zónájából, miként térjen vissza, vagy esetleg önállóan hajtsa végre a feladatot.

Ezek szorosan összefonódnak a GPS<sup>5</sup>-el, amit a robotok viszonyítási alapként használhatnak. A katonai (!) robotrepülőgépek maximálisan élvezhetik a GPS adta előnyöket – napszaktól, évszaktól, földfelszín feletti magasságtól, mozgási sebességtől független helyzetinformációkat.

Figyelembe kell venni a hátrányokat is – ha külső behatások a robot zavarát okozhatják, az a gép elvesztésével is járhat. A bekapcsolás után a rendszer felállása viszonylag hosszú időbe telik, így egy levegőben fellépő zavar esetén az újraindítás nehézségeket okozhat. Jó megoldás lehet a GPS vevő megduplázása, amit a méretét tekintve fenntartás nélkül megtehetünk.

Csak nyílt területen használható, például egy völgyben mélyen berepülve lehet, hogy a vevő nem kap elég műholdjelet. A domborzatról és épületekről visszaverődő jelek zavarokat okozhatnak a mérésekben. A rendszert az Egyesült Államok hadserege üzemelteti, ezért amennyi-

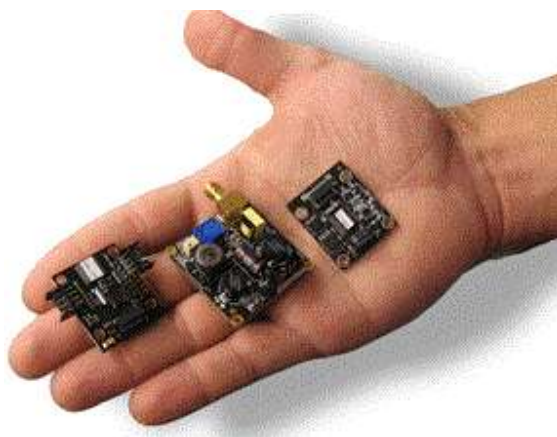
---

<sup>5</sup> GPS – Global Positioning System – globális helymeghatározó rendszer

ben az US Army érdekei megkívánják, a rendszer pontosságát csökkentik (például a jugoszláviai háború alatt a hadműveletek idejére).

### Fedélzeti mérésadatgyűjtő rendszer

A változók többségét a szenzorok valamilyen arányos analóg villamos jelként adják ki a kimenetükre. A jelek átalakításához és későbbi továbbításukhoz analóg-digitális konvertert kell alkalmazni, ami veszi az összes analóg eszköz jelét, és digitális formában továbbítja azt.



1. kép (balról jobbra) A/D konverter, ultrahangos magasságmérő, kompasz. Vegyük észre a méreteket!<sup>6</sup>

A fedélzeten elhelyezhetőek más-más fizikai elven működő mérő rendszerek: a három dimenzióban működő iránytű – amely a GPS kiesése esetén segíti az iránytartást, az akusztikus magasságmérő – amely földközelsben (8 m-ig) a barometrikus és GPS magassági adatokat jóval felülmúló pontossággal szolgál. A méretek még kisebb robotrepülőök számára is „kezelhetőek” (az 1. kép alapján).

### Elektro-optikai és infravörös eszközök

Eszközök csoportosítása az elektromágneses spektrumban való működés alapján:

- hagyományos kamerák (400-700nm);
- multispektrális kamerák (300-1000nm);
- hiperspektrális kamerák (400-1600nm);
- rövid hullámhosszú infravörös kamerák (900-1600nm);
- közepes hullámhosszú infravörös kamerák (3000-5000nm);
- hosszú hullámhosszú infravörös kamerák (8000-14000nm).

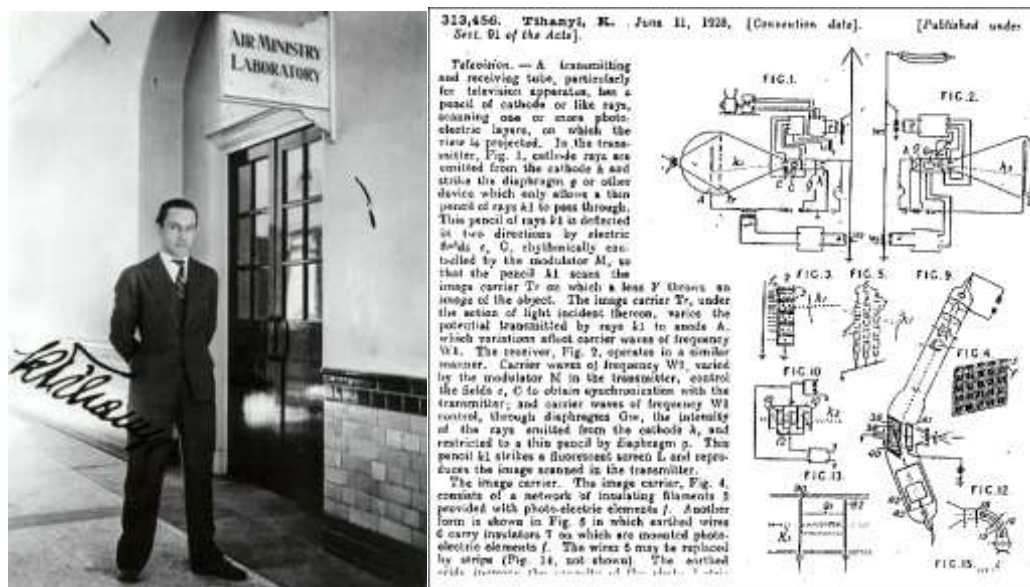
A hagyományos képet szolgáltató kamerák a látható fény tartományában dolgoznak. A technológia fejlődésével a méretük jelentősen csökkent, így akár igen kis méretű robotrepülőgépekre is szerelhetőek. Ha nem csak élőképre van szükségünk, hanem a felvétel későbbi elemzésére is sor kerül, akkor meg kell említeni a tárolás módját. A korábbi nagy térigényű szalagos tárhelyet mára felváltotta a merevlemez, vagy az SSD<sup>7</sup>-s tárolás. Méretük igen kicsi, 2.5” körül mozog.

A hőkamera, vagy más néven infravörös kamera egy olyan eszköz, mely képalkotásra a 14

<sup>6</sup> <http://www.micropilot.com/products-accessories.htm>

<sup>7</sup> SSD - Solid State Drive - szilárdtest-meghajtó

mikrométerig terjedő elektromágneses hullámtartományt használja és ezt transzponálja a 450-750 nanométeres látható tartományba. Története akkor kezdődött, amikor Tihanyi Kálmán [1] az 1928-ban bejelentett találmányát továbbfejlesztve megalkotta az első, infravörös tartományban is működő TV kamerát a brit légvédelmi rendszerhez.



2. kép Tihanyi Kálmán a televíziós képátvitel egyik megalapozója<sup>8</sup>

Tihanyi két évig dolgozott az angoloknak, találmányával az RCA, a Telefunken is megalapozta a televíziós iparát. A vásárlóközönség 1956 körül juthatott hozzá az „Evaporograph” nevű, már nem katonai minősítésű IR<sup>9</sup> kamerákhoz.

Az infravörös energia az elektromágneses spektrum része, ami magába foglalja a gamma, röntgen és ultraviola sugarakat is. A látható tartomány csak egy nagyon kicsit része ennek a spektrumnak, szintúgy az infra tartomány és a mikrohullámok. Különbség köztük az eltérő hullámhossz. Minden test bocsát ki magából hőt. Általánosan elmondhatjuk, hogy minél magasabb egy test hője, annál magasabb frekvenciájú infra sugárzás ad ki magából. Az infra kamera képes arra, hogy felfogja, és megjelenítse ezt a sugárzást. Ez működik látható fény nélkül is, például éjszaka. Ezért használata ideális mentésre füsttel teli házból, vagy esetünkben robotrepülőgépre szerelve felderítésre, tűzvezetésre.

A megjelenítés hamisképes festéssel valósul meg, ahol a különböző hullámhosszokhoz egy szint társítanak. Így kapjuk meg az ismert képeket, ahol a fehér a legmelegebb, és a fekete a leghűvösebb. Létezik színes képalkotás is. Itt a köztes hőmérsékleteket nem a szürke árnyalatokkal festik meg, hanem a teljes színpalettával. A képalkotás összetettsége miatt ezek a kamerák általában alacsonyabb felbontásban dolgoznak, leggyakrabban 160x120 vagy 320x240 pixel. A legfejlettebb hőkamerák kettős használatúak, mivel alkalmazhatóak civil és katonai célokra is. Így gyakran korlátozzák kereskedelmüket, vagy teljes export tilalmat vetnek ki rájuk.

Alkalmazási körük - a katonai célokra kívül is - igen széles: a tűzoltóság használja füstön át

<sup>8</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%A1lm%C3%A1n\\_Tihanyi](http://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%A1lm%C3%A1n_Tihanyi)

<sup>9</sup> IR – InfraRed – Infravörös

való látásra, illetve a tűz fészkének keresésére, a villamos művek az elektromos átviteli hálózat hibafelderítésére, az építkezéseken a hőszigetelés ellenőrzésére, a legtöbb nagy csillagászati távcsőben az érzékelési tartomány kiterjesztésére.

Az infrakameráknak két alapvető típusa van: hűtött és nem hűtött. A hűtött infrakamerák egy vákuumos házban helyezkednek el. Itt -150 Celsius fok alatti kriogén anyagokkal hűtik. A hűtést a félvezetők igénylik. Tipikus üzemi hőmérsékletük -270 Celsius fok és a szobahőmérséklet között helyezkedik el a detektortól függően. Hűtés nélkül a szenzorok "megvakulnának". Ezeknek a kameráknak a hátránya, hogy nagy teljesítményű hűtést igényelnek. Azonnal nem használhatóak, kis idő kell nekik, hogy "üzem melegek" legyenek. Előnyük, hogy rendkívül érzékenyek, akár fotonokat is felfognak. Alkalmazásukra első sorban, a kutatólaboratóriumokban van mód.

A hűtés nélküli hőkamerák szenzorai környezeti hőmérsékleten üzemelnek, legfeljebb kis teljesítményű hűtéssel szerelik őket. Mivel a hűtéshez külön eszközpark nem szükséges, így a méretük jóval kisebb, és áruk is alacsonyabb – de a felbontásuk is kisebb, mint a hűtött verzióknak. Alkalmazásuk szerteágazó, eredetileg katonai célokat szolgált. A koreai háború idején használták az első darabokat, később lassan átszivárogtak a civil szférába. Az alacsonyabb előállítási költségeknek köszönhetően elérhetővé vált bárki számára. Katonai használat esetén célmeghatározásra, követésre és tűzvezetésre használják. Bizonyos fokú „éjjellátást” biztosít a felhasználónak – legyen az személy, vagy robotrepülőgép. A H1N1 vírus tombolása idején a fertőzött egyéneket szűrték ki a repülőtereken az arcuk hőmérsékletének mérésével. A kiértékelést és riasztást számítógépes képfeldolgozó program végezte el.



3. kép Robotrepülőgépbe beépíthető dome kamerák<sup>10</sup>

Az infrakamera paraméterei - mint a felbontás - meghatározza az alkotott kép részletességét. Ez a robotrepülőgépek esetében meghatározza az alkalmazási távolságot a céltől. A kis felbontás nem teszi lehetővé a pontos azonosítást, így az robotrepülőgépnek közelebb kell repülnie, kiteve magát az ellenséges felderítésnek és légvédelemnek.

Az infrakamerák lencserendszere nem csak árában, tömegében is jelentős tétel – a germánium

<sup>10</sup> <http://defense-update.com/products/d/d-stamp.htm>

sűrűsége  $5,32 \text{ g/cm}^3$  – ezért meggondolandó; az egy kamera nagytömegű (emellett rendkívül drága) zoom objektívvel, vagy több kameratest fix fókuszú lencsékkel változat. A több kamera mellett szól, hogy a „kutatás” és „követés” két képernyőn, azonos fázisban valósulhat meg. A nagy látószögű lencsével szerelt kamera képén feltűnt néhány „gyanús” pixelre a hosszabb gyújtótávolságú lencsével szerelt (nagyobb nagyítású) kamera azonnal ráirányítható, ahol az objektum nagyobb felbontásban jelenik meg. Ugyanezt zoom-os lencsével csak egymást követően, a mechanika nem kis késleltetésével is számolva lehet végrehajtani – miközben a nagy látószögű teret nem látva, éppen valami fontos eseményről lemaradunk. [2]

Az éjjeli látás egy olyan képesség, mely képalkotást eredményez kevés vagy nulla fény mellett. Az emberi szem nem képes éjszaka látni - nem úgy, mint sok állat. A csekély látható tartományú fényt – mint a holdfény, csillagok fénye – még lehet foton sokszorozó eljárással erősíteni, de teljes sötétben csak a FLIR<sup>11</sup> [3] segíthet.

A FLIR története 1956-ig nyúlik vissza, amikor a Texas Instruments megkezdte a kutatásait e téren. 1966-ra már a gyártáson volt, 1972-re tömegesen állították az alacsonyabb költségeknek köszönhetően. Használata széleskörű; élőlények megfigyelése, energia veszteség felfedése kábeleken vagy csöveken, célkeresés, tűzravezetés, IFR<sup>12</sup> repülésre, vadállatok csapásának felderítése, tűzfészek meghatározás, kutató mentő műveletek, természetes gáz források meghatározása, drog laborok keresése éjszaka.

A FLIR felépítésében is eltér az éjjellátóktól, mert nem azonos hullámhosszon dolgozik. Ezzel a technológiával a bevetetőség nem csak nappalra korlátozódik. A katonai helikopterek tipikus felszereléseként segíti a pilótát az éjszakai vagy rossz látási körülmények közötti navigációban.

Alapvetően háromféle infrakamerát alkalmaznak; rövid, közepes és hosszú hullámút. A rövidhullámú a fegyverirányításban, rakétafejekben kap szerepet a közepesekkel a hűtött IR szenzoroknál találkozhatunk a hosszú hullámú LWIR<sup>13</sup> kamerák 8–12 mikrométeres tartományban „látnak” – ezek a legelérhetőbbek az általános felhasználók számára.

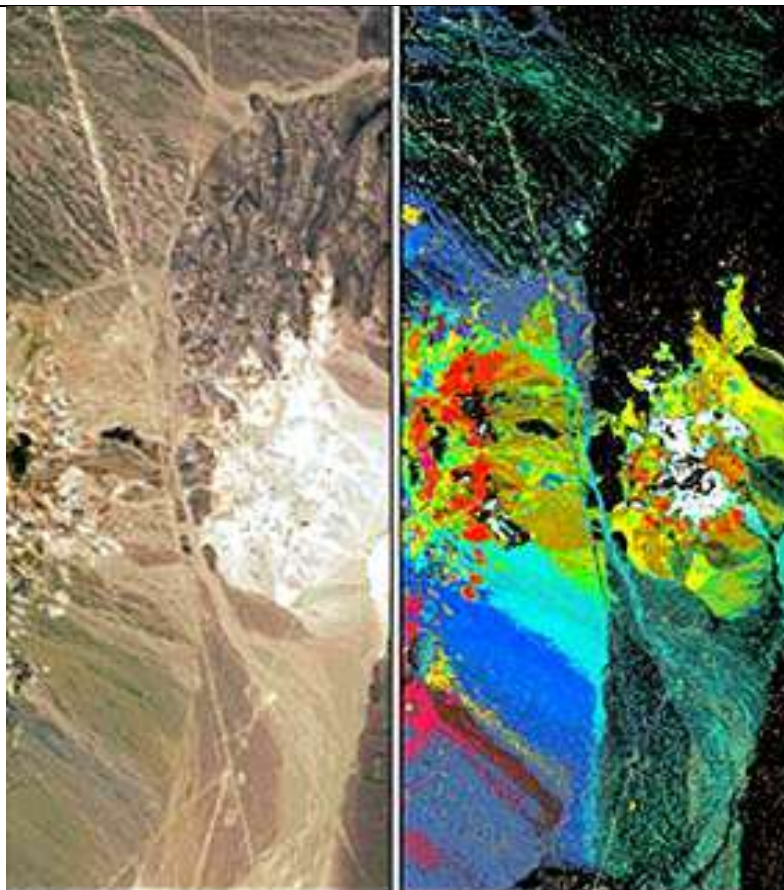
## A hiperspektrális képalkotás és a COBRA

A hiperspektrális képalkotás során egy területet képpontokra bontunk, és minden képpontról felveszünk egy spektrumot, mely folyamatos görbeként jelenik meg. A hiperspektrális képek általában több tízes nagyságrendű sávból állnak, ellentétben a multispektrális képek 5-10-es nagyságrendű sávjaival. Ezek meghatározásával olyan felszínborítás-típusok is elkülöníthetők, melyek a „durvább” multispektrálissal nem. A technológia segítségével olyan lehetőségek adódnak, amiket korábban csak komoly idő, vagy anyagi ráfordítással sikerült csak megvalósítani. Egyik ilyen terület az ásványkincsek keresése, ahol a nagy területek sávonkénti "átfésülésére" nem igazán a pilótának való, sokkal inkább egy robothoz illő feladat.

<sup>11</sup> FLIR- Forward Looking InfraRed – előretéktető infravörös kamera

<sup>12</sup> IFR – Instrument Flight Rules – műszeres repülés

<sup>13</sup> LWIR – Long Waved InfraRed – hosszú hullámú infravörös kamera



4. kép Balra a valós, jobbra a hiperspektrálisan fényképezett terület<sup>14</sup>

A földi telepítésű aknák és aknamezők észlelése egy katonai művelet megkezdése előtt igen nagy fontossággal bír. A USMC<sup>15</sup> kifejlesztette a COBRA<sup>16</sup> rendszert, amely segíti a partra szálló egységeket. Ez egy robotrepülőgépre szerelhető egység, ami képes detektálni az aknamezőket képi analízis segítségével. Multispektrális (a technika fejlődésével hiperspektrális) EO<sup>17</sup> szenzorokkal szerelt robotrepülőgép a terület fölött órjázatozva felfedi az aknák telepítéséhez kapcsolódó földtúrásokat – nappal vagy korlátozott látási viszonyok között is. A példában szereplő rendszer 1996-ban került tesztelésre, mára az informatikai fejlődésnek köszönhetően jóval nagyobb jelfeldolgozó kapacitás áll rendelkezésre. A technológia ennek ellenére nem 100%-os megbízhatóságú, ha az aknák már hosszú ideje a föld alatt pihennek, és az amúgy is kis mértékben megbolygatott felszín az időjárás és a növényzet hatására elveszíti információhordozó szerepét.

### Mozgó cél követés

Az mozgó cél követése - MTI<sup>18</sup> egyre növekvő figyelmet von magára a robotrepülőekkel való hadviselésben is. A részben barát-ellenség felismerőként is használható eszköz komoly képesség a modern hadszíntéren. Eddig lehetetlennek tűnő küldetések váltak mára teljesíthetővé az

<sup>14</sup> [http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Intro/Part2\\_24.html](http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Intro/Part2_24.html)

<sup>15</sup> USMC – United States Marine Corps – Egyesült Államok Tengerészgyalogsága

<sup>16</sup> COBRA – Coastal Battlefield Reconnaissance and Analysis – Parti Harctéri Felderítő és Elemző Rendszer

<sup>17</sup> EO - Electro-optical – elektro-optikai

<sup>18</sup> MTI – Moving Target Indicator – mozgó cél követő berendezés

eszköz használatával. Az igény a hidegháború alatt fogalmazódott meg, amikor szükségessé vált az ellenséges csapatok helyzetének az ismerete a hátszágban is. A JUH-1 SOTAS<sup>19</sup> Huey-t az európai hadszíntéren alkalmazták, ahol a szovjet támadás fő iránya volt várható. Kezdetben az 1974-es koreai demilitarizált zónában tesztelték, majd hadrendbe állították Nyugat-Németországban. Nagyméretű radarberendezés szolgáltatja az információt a fedélzeten lévő operátorhoz. A Huey-t később az EH-60 Black Hawk váltotta, míg végül a rendszer végleg kikopott, és az MTI váltotta le. A mai nagyméretű rendszerek az AWACS<sup>20</sup>-hoz hasonló, de földi követés képességével rendelkező E-8C Joint Star-ra vannak telepítve

A MTI alapja a céltárgyról kapott információ változása. A klasszikus MTI a radartechnikában került széles körben alkalmazásra, ahol a visszavert jel Doppler-frekvenciájának változása jelzi a mozgást. A repülőgépek fedélzetén telepített radarokkal a légi és földfelszíni mozgó céltárgyak ezen az elven szűrhetők ki a háttér statikus információi közül.

A másik – napjainkra kiforrott – technika a kép alapú mozgócél indikálás. Ez a pixelekre felosztott képek sorozatából kiválasztja az elmozduló objektumokat és jelzi azok mozgásának irányát, sebességét.



5. kép Mozgó cél felismerés és követés<sup>21</sup>

Az 5. képen a termokamera szűrkeskála indikátorán a – gyakorlott szem számára is alig felismerhető – foltok elmozdulásából kell a kiértékelő rendszernek riasztást kezdeményezni.

<sup>19</sup> SOTAS – Stand Off Target Acquisition System – álló cél felderítő rendszer

<sup>20</sup> AWACS – Airborne Warning And Control System – Légi Figyelmeztető és Irányító Rendszer

<sup>21</sup> <http://www.imaging1.com/thermal/specterIR.html>



## Műholdas vezérlésű bombák robotrepülőgépeken

Ha robotrepülőgép fegyver függesztmény, akkor a többség a Hellfire levegő-föld rakétákra gondol, pedig alternatívaként szolgálnak ma már olyan intelligens bombák, amik összemérhetők a Hellfire pontosságával és pusztító erejével. Álló célpontok ellen ezek a bombák megoldást nyújtanak, melyek költsége harmadával kevesebb a rakétákhoz képest.



6. kép MQ-9 Reaper<sup>22</sup>

Az egyik legfontosabb előrelépés a „fire and forget” elv megvalósulása, azaz az robotrepülőgépnek a fegyver kioldását követően nincs további teendője, kereshet új célpontot, vagy visszafordulhat, miközben a bomba autonóm módon a célra zuhan, akár a felhőzetten keresztül. A közelmúltig használt lézervezérlésű bombák rávezetése nem volt megoldható, amennyiben a célterületet felhőzet takarta, a harctéri füst, eső, pára ugyancsak korlátozó tényező volt, ezen felül a becsapódásig folyamatosan meg kellett „világítani” a célt, mivel a bomba orrában lévő érzékelő az arról visszavert lézerefény alapján vezérelte a rávezetést. A GPS vezérelt bombák ezektől a gondoktól mentesek. Kezdetben a 907 kg-os bombákra szerelték az új eszközt, ami által a fegyver intelligenssé vált. A bomba áramvonalazó farokkúpjában helyezték el az irányító készletet. Egy korong alakú áramköri kártyára szerelték az elektronikai összetevőket, beleértve a három egymásra merőleges síkban elhelyezett gyorsulásmérőket, amelyek a fegyver-leoldást követő mozgását érzékelik. A gyorsulásmérők önmagukban is elég pontosak ahhoz, hogy biztosítsák a fegyver cél közelébe vezetését, ha a GPS jelek vétele valamely okból megszűnik, akkor csak ezek alapján 30 méteren belül csapódik be a bomba.

A bombát olyan gépek is bevethetik, melyeknek a tűzvezető elektronikája kevésbé fejlett, ekkor előre betáplált koordináták alapján navigál a fegyver. Mivel a bomba továbbra is szabadesésű, bár némi minimális manőverezésre képes, a megközelítés kérdése kulcsfontosságú. Pótszárnyak felhelyezésével a hatótáv megnövelhető, biztosítva a hordozó platform nagyobb védettségét.

Az ezredfordulót követően sikerült a vezérlő elektronika méreteit annyira csökkenteni, hogy

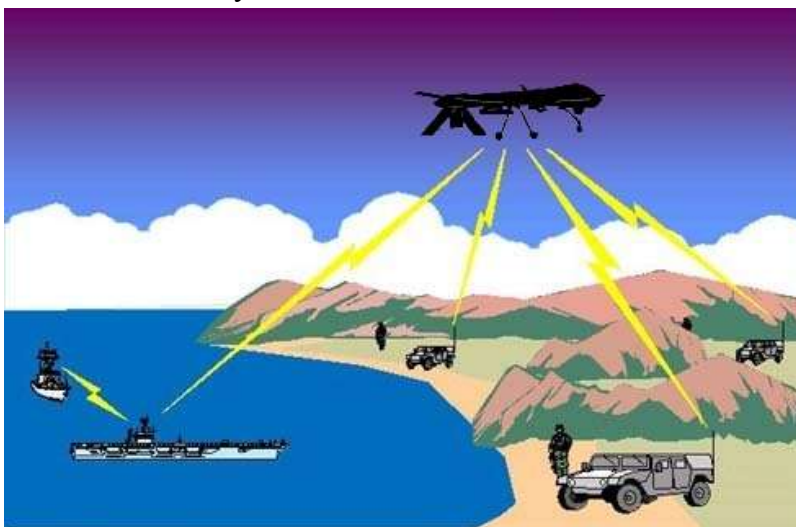
<sup>22</sup> <http://defense-update.com/products/p/predatorB.htm>

felszerelhetővé váltak a 225 és 120 kg-os bombákra is. Ezek kellően kicsik, hogy hasznos teherként nagyobb robotrepülőgépek fedélzetén megjelenjenek.

Ahhoz, hogy függetlenítsük magunkat az Egyesült Államoktól, saját navigációs rendszert kell kiépíteni. A Galileo és a Glonass még nem épült ki, így az európai és orosz saját fejlesztések még kevésbé pontos eredményeket produkálnak. A precíziós vezérlésű fegyverek létjogosultságát senkinek sem kell bizonygatni. 1991-ben az Irak elleni hadművelet során a 250 ezer felhasznált repülőgép fedélzeti fegyver közül csak 6%-nyi volt irányított, a célpontok 75%-át mégis ezekkel sikerült megsemmisíteni.

### Reléállomás/átjátszó és zavarás képesség

Mélyégi tevékenységeknél a földrajzi adottságok nem minden esetben teszik lehetővé a kapcsolatot a csapatok és az irányítás között - gondoljunk Afganisztán magas hegyeire, ahol pár kilométeren belül is jelentős szintkülönbségek léphetnek fel, vagy az iraki síkságokra, ahol a Föld görbülete, illetve a kézi eszközök nem megfelelő hatótávolsága okozhat zavarokat az összeköttetésben. Egy völgyben ellenséges tűz által lefogott egységek számára kritikus a kommunikáció. Ezen segíthet egy mozgó relé állomás, ami átjátszóként fenn tartja a kapcsolatot, sőt megnövelheti a kommunikációs távolságot az irányítás és az előretolt egységek között. Ezeket a relé állomásokat robotrepülőgépre is lehet szerelni. Több átjátszó állomással elvileg végtelen hosszúságú kommunikációs kapcsolat építhető ki. A robotrepülőgépet magasba emelve kikerülhetővé válik az árnyékolás.



7. kép Robotrepülőgép, mint átjátszóállomás<sup>23</sup>

A robotrepülőgépek különböző indításúak lehetnek. Egy alegység számára kedvezőbb a kis geometriai méretekkel rendelkező robotrepülőgép, ami természetesen kisebb átjátszó eszközt is rejt, és ez behatárolja a maximális hatótávolságot. Nagyobb csapatok esetén katapultos berendezés meglétével bocsátható fel a nagyobb méretű – és tömegű robotrepülőgép – amivel nagyobb hatótávolságú adatkapcsolat hozható létre.

A robotrepülőgépet akár rádiózavaró eszközök hordozására is lehet alkalmazni.[4] Megköze-

<sup>23</sup> [http://cs.itd.nrl.navy.mil/work/dragon\\_warrior/index.php](http://cs.itd.nrl.navy.mil/work/dragon_warrior/index.php)

lítve a célpontot a szükséges teljesítménnyel lefedhetők a zavarandó összeköttetés vevőberendezései. A zavarások szüneteiben adatbankba kell gyűjteni a potenciális célpontok által kibocsátott jeleket – szükség esetén továbbítani a földi állomásokra.

### **Gépelhagyás utáni pilótakereső rendszer**

A kutató-mentő műveleteket eredményesebben végrehajtására, a hadművelleti területen katalpultált pilóták felkutatására olyan robotrepülőgépeket küldenek felderítésre, melyen az SRRS<sup>24</sup> helyzetét kisugárzó transzponder jeleit veszik, így a keresés élőerő veszélyeztetése nélkül lehetséges.

A korábbi, pilótás rendszerek csak a saját vonalak határáig repülhettek, nagy veszélynek kitelve az ellenséges vonalak mögött kutakodó gépet és utasait. Ezeket a hátrányokat küszöböli ki az robotrepülőgépre szerelt rendszer. Az első tesztek 1998-ban kezdődtek az „Exdrone” robotrepülőgépre felszerelt SRRS vevővel. A rendszerrel szemben támasztott követelmény a kis méret, és a meglévő SAR<sup>25</sup> eszközparkjával való együttműködés.

### **Időjárás érzékelés (TES)<sup>26</sup>**

A TES meteorológiai adatok gyűjtésére szolgál. A szenzorok légnyomás, hőmérséklet, páratartalom és szélsébség adatokat gyűjtenek. A Predatorra szerelt TES barometrikus nyomásmérőt, GPS adót, és hőmérőt visz magával. A földi egység 400 MHz UHF csatornán kommunikált a robotrepülővel, és egy laptopon dolgozza fel az érkező adatot. A TES 1999 után véglegesen beépült a TCS<sup>27</sup>-be, így ez a képesség mára mindenki számára elérhetővé vált.

### **Vegy- és sugárfelderítés**

A nukleáris és vegyi fegyverek elterjedésével nélkülözhetlenné vált egy olyan eszköz, mely emberi élet veszélyeztetése nélkül képes információt szolgáltatni a szennyezés mértékéről. Felhasználása kiterjed a magánszektorra is – erőmű balesetek, vegyi katasztrófák, veszélyes anyagot szállító járművek balesete.

A kezdetben a szondákat a repülőgépek pilonjaira kapcsolták. A miniatürizációnak köszönhetően ma már a robotrepülőgépek is képesek magukkal vinni a mérőeszközt, így a személyzetet nem kell kitenni a szennyezés felett a közvetlen veszélynek. Mentésítő feladatokra is lehet használni robotokat – újrafeltöltés esetén fontos a gép többszöri használatra való alkalmassága és a vegyi anyagokkal szembeni ellenállása. A GPS rendszer segítségével pontosan behatárolható a szennyezés kiterjedése. Célszerű a fedélzeten elvégezni a mért eredmények azonnali feldolgozását, majd utána küldeni a földi állomás felé. A gyors adatkommunikációnak köszönhetően szinte élőképen, valós időben követhetjük egy szennyezett légtömeg mozgását, irányát.

<sup>24</sup> SRRS - Survivor Radio Repeater System – katalpultált pilóta után kereső rendszer

<sup>25</sup> SAR - Search and Rescue - Kutatás-mentés

<sup>26</sup> TES – Tactical Environmental System – környezetfigyelő meteorológiai rendszer

<sup>27</sup> TCS – Tactical Control System – harcászati irányító rendszer

## A MICROPILOT MEGOLDÁSA A HASZNOS TERHEK KEZELÉSÉRE

Az 1994 óta működő kanadai MicroPilot [5] a világ egyik legismertebb robotpilóta-gyártó cége. A néhány száz grammos repülő modelltől a gázturbinás légitelítőig 65 országban több mint 750 alkalmazó használja az eszközeit. Népszerűek az iskolákban, egyetemeken, kutató intézetekben, a gazdaság különböző területein, de a védelmi szféra is szép számmal használ robot légi járművein MicroPilot berendezéseket.

### Videó lesugárzó rendszer

A MicroPilot MP DAYVIEW PTZ nappali és MP NIGHTVIEW PTZ éjszakai felvételekre stabilizált kamera platformokat ajánl. [6] A kameraképek alapján vezethető a légi jármű és beállítható egy felderített objektum körüli automatikus körözés.

A kamera RS232/PWM jelekkel kommunikál a földi irányító rendszerrel. A lesugárzott videójel PAL, vagy NTSC formátumban érkezik. A kamera platform működtetése – forgatás, döntés, zoomolás – a földi állomás parancsai alapján történik. A videokamera képe külön ablakban, vagy külön képernyőn jeleníthető meg.



8. kép A MicroPilot HORIZON földi állomásán megjelenő videókép – repülési adatokkal

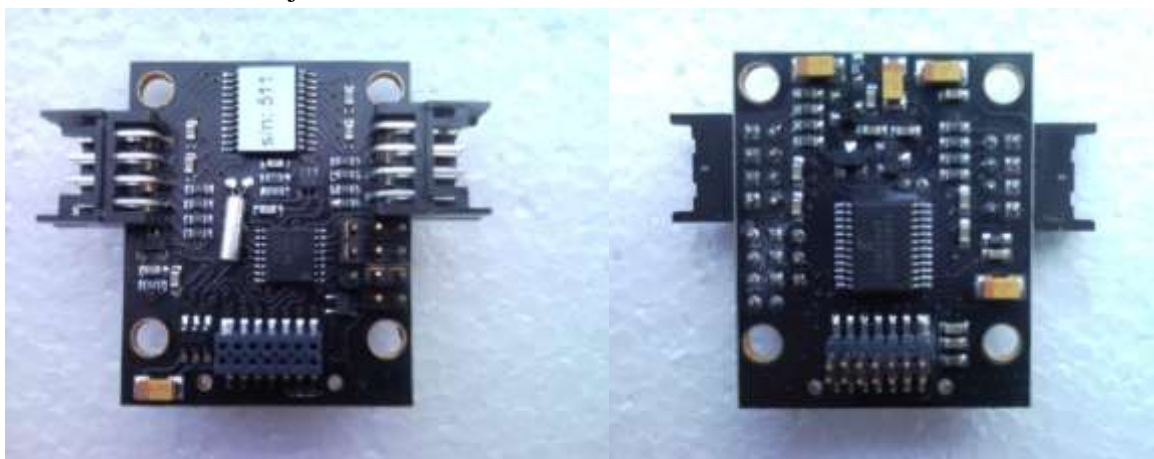
A legfontosabb repülési adatok, pillanatnyi koordináta, irány, magasság is leolvasható a lesugárzott képen. A fedélzeten a videó csatornára kapcsolt külön „video overlay”<sup>28</sup> áramkör (BOB III) biztosítja ezen adatok képre montírozását. (8. kép)

<sup>28</sup> video overlay - videó feliratozó

## Analóg-digitális átalakító

A robotrepülőgépek alkalmazói – hobbirepüléstől a minősített feladatokig – gyakran találkoznak olyan kihívásokkal, amelyek a fedélzeten elhelyezett műszerekkel megmérhetők és még a repülés folyamán hasznos információkkal szolgálhatnak.

A MicroPilot olyan ADC – analóg/digitális átalakítót ajánl a repülőgép fedélzetre, amely 32 csatornás 24 bites felbontású bemenettel rendelkezik 25 mV-tól 5V-os (bipoláris, vagy unipoláris) értékhatárig. A felhasználó által szabadon megválasztott jelforrások adatait 5Hz-es gyakorisággal mintavételező rendszer dolgozza fel és továbbítja a fedélzeti rádiómodem útján a földi irányító állomásra. A 9. kép egy analóg digitális konverter nyomtatott áramkörtől mutatja mindkét oldalát.



9. kép A MicroPilot ADC panelje 29

A 32 csatornás analóg/digitális átalakító igen nagy bemenő ellenállású – mindössze 100 pA terhelést jelent a mérendő áramkörre – és beépített zajszűrőt is tartalmaz. Ezzel az átalakítóval megépíthető például egy olyan légi meteorológiai laboratórium, amely az analóg érzékelőktől (nyomás, hőmérséklet, páratartalom, stb.) közvetlenül kapott adatokat már a fedélzeten digitalizálja. A digitalizált információ átvitelére a mai adatsatornák már kiválóan alkalmasak.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A robotrepülőgépek hasznos terhei széles skálán mozognak. A hordozó képességei határolják be a szállítható tömeget, de az ezen belül maradónak csak a fantázia és az anyagiak szabnak határt. A korábban csak katonai feladatú eszközökön ma már megtalálhatók a tudomány, technika, környezetvédelem és a gazdaság minden területéről érkezett szállítandó berendezések, a robotrepülőgépek, pedig fáradhatatlanul végzik a gyakran veszélyes, fárasztó, monoton küldetéseket.

Merre tovább robotrepülés? A technika fejlődésével eszközeink mérete csökken, a digitalizációval a feldolgozó kapacitásuk növekszik. Mára már nem feltétlenül csak azzal kell számolnunk, hogy az ellenséges légvédelmi tevékenység tesz kárt benne. A modern kor katonái a kibertérben is támadhatnak – az Egyesült Államok Irán felett pár hónapja „elvesztett”

<sup>29</sup> A szerzők felvétele

robot repülőgépe is ennek esett áldozatul.



10. kép A jövő felhasználási lehetősége<sup>30</sup>

A jövőben csökkenni fog a sebezhetőség, a hasznos terhek időjárás- és napszakfüggősége. Minden bizonnyal új hasznos terhek is alkalmazásra kerülnek. Fontos, hogy a meglévő felde-  
rítési rendszerekbe integrálhatóak legyenek, vagy együttműködjenek vele. Az adatfeldolgozó  
rendszerek általában lépéshátrányban vannak az adatgyűjtő eszközökkel, így valószínű a fel-  
zárkóztatásuk. A "lopakodó" képesség előszele már most jelen van.

A NKE HHK KÜLI Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszéken több éve folynak repülés biz-  
tonsággal kapcsolatos kutatások. Az ROBOTREPÜLŐGÉP laboratóriumában a különböző  
hasznos terhek beépítése, kipróbálása során szerzett tapasztalatokat tudományos fórumokon  
tesszük közzé. A jelenlegi kutatások és kísérletek a „Repülésbiztonság növelése - madárriasz-  
tás robotrepülőgépekkel” témában a

## SZÉCHENYI TERV

**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az  
Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of  
the European Social Fund."**

**Alprogram: Adatintegráció**

**Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légijárművek alkalmazásának Légiközlekedés-  
biztonsági aspektusai**

<sup>30</sup> <http://kitup.military.com/2011/11/nano-robotrepülőgéps-snapped-uk-mod.html>



---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] <http://www.elektroncso.hu/cikkek/fotocso.php>
- [2] [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Makkay\\_Imre-Vanya\\_Laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Makkay_Imre-Vanya_Laszlo.pdf)
- [3] <http://gs.flir.com/>
- [4] [http://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft\\_id=900](http://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=900)
- [5] <http://www.micropilot.com/>
- [6] <http://www.micropilot.com/products-cameras.htm>

Kubovics Balázs<sup>1</sup> – Makkay Imre<sup>2</sup>

## ROBOTREPÜLŐGÉPEK MAGASSÁGMÉRŐ RENDSZEREI<sup>3</sup>

A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási programban jelentős számú autonóm robotrepülőgép működik. A repülések tervezett útvonalon történő végrehajtása érdekében a légi jármű magasságát folyamatosan mérni kell. Az adatokat a fedélzeti és földi irányító rendszer számára a megfelelő formában el kell juttatni. A repülés biztonsága érdekében a magassági adatokat több forrásból is meg kell erősíteni. Az írásműben az alkalmazható magasságmérési elveket és eszközöket áttekintve a feladathoz illeszkedő, többszörösen ellenőrzött adatokat szolgáltató rendszer tervét ismertetjük.

### ROBOT AIRCRAFT ALTITUDE MEASUREMENT SYSTEM

The „Increase Aviation Safety - Bird Scaring Robot Aircraft” research program is planned a significant number of autonomous robotic aircraft operation. The planned route of flight of the aircraft in order to implement the height shall be measured continuously. The data from the airborne and ground control system for the appropriate form should be sent. The safety issues the flight altitude data from multiple sources to be strengthened. The writing piece was used for height measurement principles and tools for reviewing the matching task, multi-service system design information checked below.

## BEVEZETÉS

A korábban hagyományos eszközökkel felszerelt hadseregek egyre gyorsuló ütemben modernizálják arzenáljaikat, és egyre több olyan fejlett technikai eszközt alkalmaznak, mint amilyenek a pilóta nélküli repülőgépek.

Az UAV-ok (Unmanned Aerial Vehicle) vagy robotrepülőgépek számos olyan feladatra alkalmazhatóak, amelyek mindezidáig csak emberi élet (nevezetesen a pilóta életének) kockáztatásával voltak csak megvalósíthatóak. A mai modern hadviselésben ezért egyre nagyobb teret nyernek az ilyen típusú repülő eszközök. A pilótánélküliség sok előnyt biztosít a tervezőknek. Egyfelől mivel nincs ember a repülőgép fedélzetén így az emberi élet körülményeit biztosító rendszerek feleslegessé válhatnak, valamint olyan repülési manővereket is lehetővé tesz amit eddig a pilóta szervezetének tűrőképessége nem engedett meg. A fejlesztések folyamatosak és a lehetőségeknek szinte csak a fejlesztésre szánt anyagi korlátok szabnak határt.

Minden robotrepülőgép alapvető követelménye, hogy a jármű robotpilótája földi irányító egység felé a lehető legpontosabb repülési adatokat továbbítsa. Ezen legfontosabb repülési paraméterek, mint amilyen a sebesség, magasság, dőlésszög, állásszög stb. mérése továbbra is a gépen történik. Nagyon fontos a navigáció és a repülési cél sikeres elérése érdekében a fent említett adatok több forrásból történő mérése, megerősítése.

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kuboo1112 @gmail.com

<sup>2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu



A tanszéken több éve folyó kutatómunka egyik kiemelt területe a repülésbiztonság növelése, amelynek – az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” keretein belül – e publikáció is része kíván lenni.

## MAGASSÁGMÉRÉSI ELJÁRÁSOK ROBOTREPÜLŐGÉPEKEN

### A repülési magassági fontossága

A navigáció, le- és felszállás, feladat végrehajtás és csapásmérés szempontjából is az egyik legfontosabb repülési adat a magasság. Természetesen a légi járművek magasságának pontos ismeretek nem csak a repülőgép vezetők érdeke, hanem a földi légiforgalmi irányítók számára is elengedhetetlenül fontos. A repülőgép pillanatnyi magasságát alapvetően háromféle szinthez képest állapíthatjuk meg.

Megkülönböztetünk:

- *abszolút magasságot (QNH)*: ami a tenger szintjéhez viszonyított magasság.
- *viszonylagos (relatív) magasságot (QFE)*: ami valamilyen földrajzi hely szintjéhez, pl. felszálló- vagy leszálló repülőter szintjéhez viszonyított magasság, és
- *tényleges magasságot*: ami mindenkor az adott pillanatban átrepült terep szintjéhez viszonyított magasság.

A magassági adatok fontosságát számos példán keresztül lehet bizonyítani. Nem kell messzire mennünk az időben, hogy találjunk olyan repülőgép szerencsétlenségeket, amik a magasságmérő műszerek meghibásodása miatt történtek. 2009 februárjában Amszterdamban egy török 737-es zuhant le mert meghibásodott a rádió magasságmérő műszere, igaz ezen kívül a pilóták rossz reakciói is kellettek a szerencsétlenséghez. A rossz magassági adatot figyelembe véve a robotpilóta megkezdte a leszállást, holott még jóval a leszállási magasság fölött repült a gép. A hajtóművek működésének visszaesése és az, hogy a pilóták nem iktatták ki a rosszul működő robotpilótát, 9 emberéletet követelt. [1]

Egy 2008-as eset arra mutat rá, hogy nem elegendő, hogyha a mérőeszközeink duplikáltan találhatóak meg a légi járművünkön, de fontos, hogy azok akár elektromos táplálás nélkül is rendelkezésre álljanak. 2008 márciusában történt, hogy egy 180 fő utast szállító repülőgép elektromos ellátása meghibásodott, mert a generátoroktól nem jutott el a megtermelt áram az akkumulátorokig, így egy idő után elfogyott a tartalék áramforrás. Szerencsére a szerencsétlenségben, hogy a repülőgép a célreptér közelében repült ekkor és a pilóták mindössze saját érzékszerveik segítségével le tudták tenni a repülőt és sérülés nélkül végződött a meghibásodás.

Mivel a robotrepülőgépeken nincs személyzet, aki adott, kritikus esetben (műszer meghibásodása, fals adatszolgáltatás esetén) meg tudná becsülni a repülőgép magasságát, például leszállásnál, ezért az UAV-ok magasságadatait is több forrásból meg kell erősíteni. Ebből kifolyólag érdemes tehát átgondolni, hogy a barometrikus magasságmérőink mellé egy fel- és leszálláshoz nagyon hasznos, kis mérési tartományú akusztikus magasságmérőt, illetve egy közepes magasságú repülésekhez jól használható rádió magasságmérőt is beszereljünk. Ha e három rendszer mellé még a repülési fázisokban társul a műholdas magassági adat, akkor nagy valószínűséggel állítható, hogy a biztonságos repüléshez lesz (legalább kettő) összecsengő magassági adatunk.

Tekintsük át ezeket az eljárásokat – első sorban a robotrepülőgépek igényeinek figyelembe vételével.

## A barometrikus magasságmérés



1. kép Egy ma használatos kézi barometrikus magasságmérő <sup>4</sup>

A magasság mérésére feladattól és repülőgéptípustól függően többféle eszköz, módszer használható. A legalapvetőbb és legrégebbi mérési módszer a barometrikus, magasságmérés. Ezen módszer is többféle lehet. A legegyszerűbb és talán legelterjedtebb a szelencés barometrikus mérés. Elve az, hogy a légkör nyomása a magasság függvényében meghatározott törvényszerűség szerint változik. Ilyenkor a magasságmérő egy vagy több szelencéből álló barométer. A szelencék a légmentesen zárt műszerházban vannak elhelyezve, amelybe a Pitot- cső statikus nyomása van bevezetve. A szelence a nyomás hatására összenyomódik. A magasság növekedésével a statikus nyomás csökken, tehát csökken a műszerházban a nyomás. Ennek következtében a szelence kitágul és az áttételen keresztül a mutatókat elmozdítja, amely egy méterben kalibrált számlap előtt mozog. Az ilyenfajta magasságmérés elsősorban a pilóta számára tud megfelelő adatokat biztosítani.

A robotrepülőgépek esetében a barometrikus mérőeszköz nem szelencés műszer, hanem egy digitális nyomásmérő, amely a rávezetett nyomásértékből egy digitális jelet továbbít. Ezt a digitális jelet tudja a fedélzeti számítógép magasságértékké alakítani. Az ilyen nyomásmérőket használják ma a legtöbb modern repülőgépen.

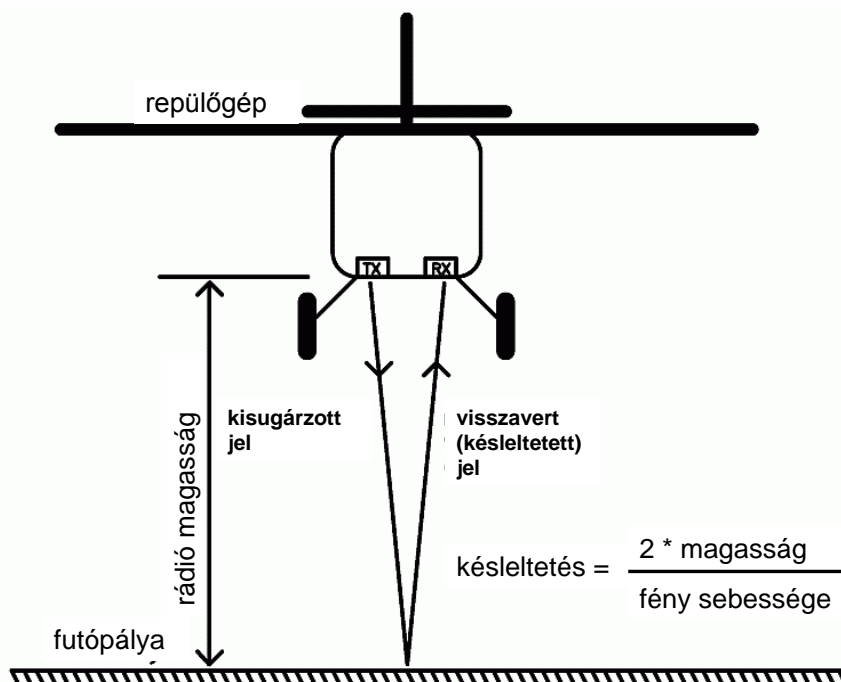
A barometrikus magasságmérő műszerekkel a viszonylagos (QFE) vagy abszolút (QNH) magasságot mérjük. A módszer hátránya hogy a levegő nyomásértékei nem csak a magasság, de a hőmérséklet illetve az időjárási viszonyok változásával is módosulnak. Ebből adódóan a mért magasságérték hibás, pontatlan lehet. Ennek elkerülése érdekében, különböző technikai mechanikai korrigálásokat alkalmaznak. A mérés másik hátránya, hogy a magasabb légrétegekben a levegő statikus nyomása már nem, vagy csak nagyon nagy hibával mérhető így bizonyos magasságok fölött a barometrikus mérés nem alkalmazható.

## Rádió magasságmérés

A magasságmérés egyik, az előzőektől eltérő módszere a rádió magasságmérés. Ez a módszer

<sup>4</sup> [http://www.electronic.hu/Hobby/Outdoor/Magassagmero/Magassagmero\\_es\\_barometer](http://www.electronic.hu/Hobby/Outdoor/Magassagmero/Magassagmero_es_barometer)

is már régóta segíti a repülőgépek navigációját, hiszen már a II. világháborúban is alkalmazták a módszert a német vadászrepülőgépeken is. Ennek elve, hogy a repülőgépen lévő elektromágneses hullámokat kibocsátó adó a Föld felszínére irányítja hullámait melyek visszaverődnek onnan és szintén a repülőgépre épített vevő felfogja azokat. A hullámok terjedési sebességét és a kibocsátás valamint az észlelés közt eltelt idő ismerete alapján számolható a repülőgép földfelszínhez viszonyított tényleges magassága.



1. ábra A rádió magasságmérés elve<sup>5</sup>

A rendszerhez tartozik egy tápláló generátor is, ami plusz súlyt jelent a gép számára. A rendszer hátránya, hogy csak alacsony magasságokban, földközeltől körülbelül 1000 méteres magasságig használható jól a magasság mérésére. Ezekben az alacsony vagy szinte földközeli magasságokban viszont kitűnően használható. [2][3][4]

### Akusztikus magasságmérés

A rádió magasságméréshez igen hasonló mérési módszer az akusztikus, hanghullámok alapján történő magasságmérés. Az elv itt is hasonló, mint a rádióhullámok esetén. A szárnyba vagy szárnyakba szerelt adó-vevő készülék kibocsátja a hanghullámokat, melyeket a visszaverődés után befog, majd a két művelet közt eltelt idő alapján számítja a repülési magasságot. Ezek a szerkezetek csak nagyon alacsony magasságokban, 4 méteres magasságig működnek jól ezért felhasználási területük elsősorban a leszállító rendszereken belül található.

### A műholdas magasságmérés

Egy a XX. század vívmányainak köszönhető, repülési magasságot biztosító mérési rendszer a GPS - globális helymeghatározó rendszer – alapú magasságmérés. Az USA által tervezett és

<sup>5</sup> <http://lea.hamradio.si/~s53mv/radalt/radalt.html> alapján a szerzők fordítása

üzemeltetett műholdas helymeghatározó rendszer, a Föld bármely pontján, bármikor, időjárás-tól függetlenül elérhető.

A helymeghatározás elmélete analitikus geometriai módszereken nyugszik. A műholdas helymeghatározó rendszer időmérésre visszavezetett távolságmérésen alapul. Mivel ismerjük a rádióhullámok terjedési sebességét, és ismerjük a rádióhullám kibocsátásának és beérkezésének idejét, ezek alapján meghatározhatjuk a forrás távolságát. A háromdimenziós térben három ismert helyzetű ponttól mért távolság pontos ismeretében már meg tudjuk határozni a pozíciót. A további műholdakra mért távolságokkal pontosítani tudjuk ezt az értéket. A földi hely meghatározáshoz elegendő, ha a vevőkészülékünk minimum három műhold jelét érzékeli, a levegőben történő hely, egyúttal magasság meghatározásához viszont további legalább kettő műhold jelét kell érzékelnie a vevőkészüléknek. Előnye a többi mérési módszerhez viszonyítva, hogy a műholdak keringési magasságából adódóan a mérési határa igen magas, elérheti akár a 15000 méteres magasságot is.

Ebből adódik egyik nagy hátránya, hogy mivel a műholdak keringése állandó így a vevőkészüléknek kevés ideje van a megfelelő számú műhold jelét venni. Emiatt a vevő által számított magassági értékek hibája túl nagy, illetve ingadozó lesz. A folyamatos és nagymértékű változások miatt a repülésben magasságmérésre nem a legjobban alkalmazható módszer. További hátránya még a korábbi mérési lehetőségekkel szemben, hogy a műholdrendszer ugyan a nap minden percében, időjárástól függetlenül rendelkezésre áll, de a felhasználókat az üzemeltető- USA -(más hasonló jelenleg kiépítés alatt álló rendszerek esetén Kína, Oroszország, Európai unió) korlátozhatja, zavarhatja (lásd a délszláv háború idején kibocsátott zavaró jel ami akár több száz méteres eltérést eredményezett). Egy ilyen kívánt felhasználás esetén ez meglehetősen hátrányos lehet.

### **A magasság meghatározása a robotrepülőgépen**

A robotrepülőgépek repülésbiztonságának növelés érdekében tehát a repülési magasság meghatározásánál, nem hagyatkozhatunk egy műszer adataira, hanem több forrásból kapott adatok alapján kell meghatároznunk a magasságunkat. Ennek érdekében nem elegendő, ha az egyik típusú rendszerünket megduplázzuk, hanem többféle mérési rendszert kell párhuzamosan alkalmaznunk. Ilyen esetben belátható, hogy problémát okozhat, hogy a többféle műszerünk többféle nyomás, magasság értéket biztosít nekünk. Elsődleges feladatunk, hogy a különböző műszerek adatait egységes és továbbítható formába hozzuk. A probléma megoldása érdekében érdemes már akár a műszerünket úgy megválasztanunk, hogy az számunkra megfelelő formájú, lehetőleg digitális jelet adjon. Ha ez nem valósítható meg, akkor a mérőeszköz és a fedélzeti számítógép közé egy analóg-digitális átalakítót kell beépítenünk.

Ha a fenti problémát sikerült megoldanunk, akkor a kapott értékeket a fedélzeti számítógépünknek kell eljuttatni. A robotrepülőgép magasságát ezután a legcélszerűbb egy összehasonlítás alapján megállapítanunk. A különböző értékek közül a számítógépünk a három, egymáshoz legközelebb eső magasságértékek számtani átlagát adja meg a magasságnak. Ennek szoftveres megvalósítása ma már egy viszonylag egyszerű feladat a programozók számára.

A fenti meghatározási módszerhez tehát biztosítanunk kell legalább 4 vagy 5 magasságértéket, amiből a fedélzeti számítógép a meghatározott eltérési határok alapján választani tud.



Ennek megvalósítása sokféleképpen történhet. A robotrepülőgépek számára ideális megoldás lenne, ha legalább két barometrikus elven működő mérőeszközünk lenne a gépen, illetve egy műholdas mérés alapján kapott értékkel is rendelkeznenék. Ezzel a módszerrel a közepes magasságú repülések esetében biztosítottá válhat a pontos magasság meghatározása.

Alacsonyabb magasságú repülések esetében érdemes egy rádió magasságmérővel kiegészítenünk adatainkat. A három különböző típusú mérési módszer együttes használata esetén a számított magasságunk még valamelyik eszközünk meghibásodása esetén is kis eltéréssel megközelíti a repülési magasságunkat.

A robotrepülőgépek esetén külön figyelmet kell fordítanunk a le illetve felszállások pontos és hibátlan végrehajtására. Mivel az irányító személy nincs a repülőgépen így kizárólag a műszerek által mutatott magassági adatok alapján szállítja le a repülőt, így ilyenkor kiemelkedően fontos a pontos magasság meghatározása. Ennek érdekében nagyon hasznos lehet a már meglévő rádió magasságmérő mellé egy akusztikus magasságmérő felszerelése a légi járművünkre. A két rendszer együttes működése biztosítani tudja a megfelelő adatokat a pontos leszálláshoz egészen a kerekek földet éréséig. Ezzel elkerülhetőek az olyan balesetek melyek a pontatlan vagy rossz magassági adatokból kifolyólag történtek a leszállás közben.

## A MICROPILOT ROBOTPILOTÁINAK MAGASSÁGMÉRŐ RENDSZERE

Az 1995 óta működő kanadai MicroPilot [5] a világ egyik legismertebb robotpilóta-gyártó cége. A néhány száz grammos repülő modelltől a gázturbinás légitől 60 országban több mint 600 alkalmazó használja az eszközeit. Népszerűek az iskolákban, egyetemeken, kutató intézetekben, a gazdaság különböző területein, de a védelmi szféra is szép számmal használ robot légi járművein MicroPilot berendezéseket.

A MicroPilot széles palettát ajánl a felhasználóknak – a kezdők számára az MP1028<sup>g</sup>, a haladóknak az MP2028<sup>g</sup> adhat megoldást, a profik az MP2128<sup>g</sup> vagy az MP2128<sup>HELI</sup> változattal míg a célrepülőgépekben az MP2028<sup>XP</sup> (vissza nem térő) típussal számolhatnak.

Valamennyi rendelkezik barometrikus magasságmérővel, GPS vevővel és AGL – akusztikus magasságmérő is kapcsolható hozzájuk.

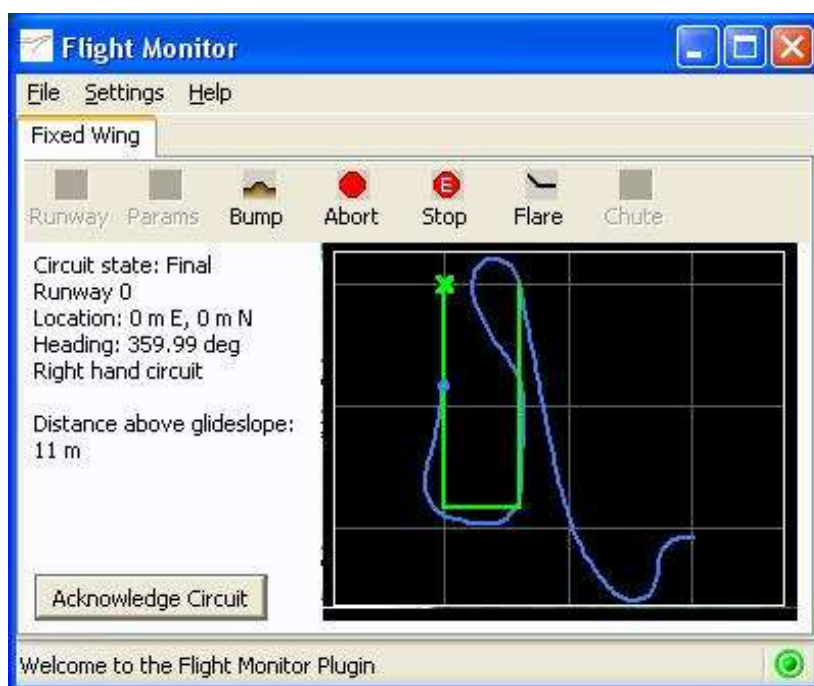
### **A MicroPilot automatikus fel- és leszállító üzemmódja**

A MicroPilot fedélzeti robotjai – a Horizont földi irányító állomás programjával együtt – biztosítják a teljesen automatikus fel- és leszállás műszaki feltételeit.

A felszállás történhet a futópályáról kerékről, az autó tetején elhelyezett indító állványról, katapult, vagy gumikötél segítségével illetve kézből eldobva. A felszállást a légsebesség és a GPS alapján mért sebesség előírt értékénél engedélyezi a fedélzeti automatika. A futópályáról végrehajtott automatikus fel és leszálláshoz akusztikus magasságmérő is szükséges.

A felszállási parancs kiadható az RC távirányítón 4 másodpercig teljes tolóerőt állítva, a repülőgépen elhelyezett „START” kapcsoló 4 másodperces nyomva tartásával, vagy a katapult kioldójával. A megfelelő sebesség elérése után a fedélzeti rendszer autonóm üzemre kapcsol és megkezd a feladat szerint a repülőgép irányítását. Ha a repülőgép valamilyen oknál fogva nem gyorsult

fel az előírt sebességre, akkor a robotpilóta a felszállást nem engedélyezi – megszakítja.



2. kép A MicroPilot autonóm leszállási paramétereinek beállítása<sup>6</sup>

A felszállás és a földet érés helye (magassága, orientációja) eltérhet egymástól. Az útvonalról visszatérő repülőgép egy iskolakör második (hátszeles) szakaszához csatlakozik és a rövid (keresztszeles) fal után a megadott pályairányon lesüllyed a repülőtér megadott szintjéig. (2. kép)

A felszállás helyén mért magasság – a GPS-el korrigált barometrikus nyomás értéke - és az útvonal fordulópontjainak előre beállított magassági értékei adják a repülés magassági lépcsőit. Az útvonalon repülő gép – amennyiben elérhető a Horizon adatátviteli csatorna „Connect” üzemmódjával – menet közben is megváltoztathatja a repülési magasságát.

A megadott magasság tartására két eljárást lehet előre beprogramozni:

1. a tolóerő szabályzással, ekkor egy beállított magassági kormány-álláshoz a motor fordulatszámmal tartja az előírt magasságot (valójában a levegőhöz mért állandó sebességet);
2. a magassági kormánnyal, ekkor a motor bármilyen fordulatszámához a magassági kormánnyal kell a szintet tartani.

A második eljárás kényelmesebb – mindaddig, míg a motor a minimális, átesési sebességnél nagyobb tolóerőt biztosít, azonban ennek megszűnése esetén a magassági kormánnyt a robot túlhúzza (ennek ellenére már nem emelkedik) és a gép átesve, irányítatlanul dugóhúzóba kerül.

Az első módszer ilyen esetben megmentheti a gépet, mert a magassági kormány a minimális sebesség alá nem engedi lassulni és így egy irányítható merüléssel érhet földet.

<sup>6</sup> <http://www.micropilot.com/products-horizonmp.htm>

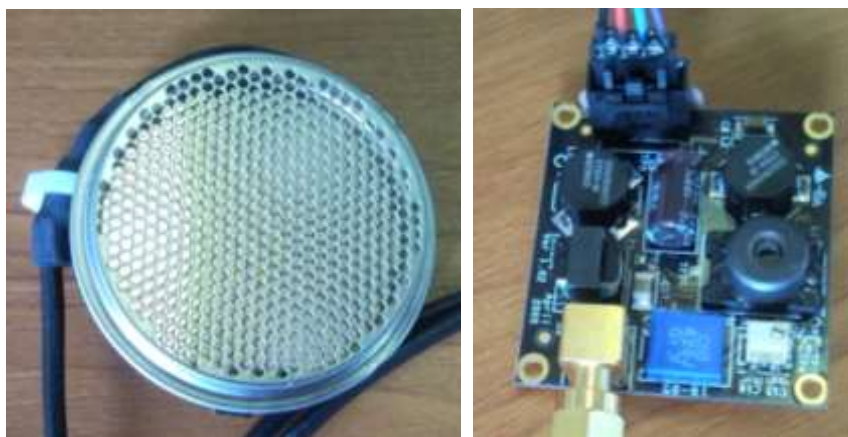


3. kép A MicroPilot repülési adatrögzítője<sup>7</sup>

A MicroPilot fedélzeti adatrögzítőjéről (3.Kép) az események pontosan visszajátszhatók és a paraméter beállítások ezek segítségével korrigálhatók. Ez a funkció különösen hasznos egy új, vagy módosított sárkány / hajtómű / payload berepülésekor.

### Akusztikus magasságmérő

A magasságmérés földközelsben a fel és leszálláskor kerül az első helyre. A pálya szintjéhez mért magasság (QFE) szerint kell a talajérintés függőleges sebességét a lehető legkisebbre csökkenteni. Az akusztikus magasságmérő ezen az utolsó néhány méteren szolgál igen fontos adatokkal – ahol centiméterek jelentik a szabályzó kör számára a bemenő jel legkisebb egységét.



4. kép Az akusztikus magasságmérő antennája és adó/vevő berendezése<sup>8</sup>

Az akusztikus magasságmérő adó/vevő antennája piezoelektromos meghajtású fémmembrán, amelyiket a talaj felé nézve, a motortól minél távolabb, a szárny vagy a törzs megfelelő részére kell felszerelni úgy, hogy semmi ne árnyékolja a talaj felé haladó és a visszaverődő jeleket.

<sup>7</sup> <http://www.micropilot.com/images/products/datalog-viewerIrg.htm>

<sup>8</sup> A szerzők felvétele

Az adóvevő egység a MicroPilot AGL csatlakozóján keresztül kapcsolódik a fedélzeti egységhez – innen kap táplálást és a jelvezeték is ide csatlakozik.

Az akusztikus magasságmérő adatai szerint repül a gép amikor az előre beállított „aglLowThrottleSetting” érték alatt van a tolóerő – ez tipikusan a leszálláshoz közelítve a siklópálya megtörésekor kerül beállításra. Ugyanígy a felszállás előtt is, mindaddig, míg a tolóerő szabályzó a fenti értéket nem éri el.

### Barometrikus magasságmérő

A MicroPilot robotpilóta egysége a barometrikus magasságot nyomásmérő érzékelő jele alapján számolja – egyeztetve a GPS vevő magassági adataival. A légsebesség mérésére is ugyanilyen érzékelőt alkalmaz – a torló nyomást szilikon csövön bevezetve.

A barometrikus magasságmérő által mutatott nyomás a helyi időjárás változását is követi, ezért időnként kalibrálásra szorul. A GPS-ről vett pillanatnyi magasságadatok ugyan „dobálnak”, de megfelelő szűrő algoritmussal ezek is szinten tarthatók és a referencia jelet innen származtatják – mert az nem időjárásfüggő.



5. kép Az MP2028 alaplapja két nyomásmérő érzékelővel és a GPS vevővel<sup>9</sup>

A barometrikus magasságmérő és a sebességmérő is érzékeny a pára, nedvesség és főleg a jegesedés lehetőségére. Nagyobb robotrepülőgépeken a jégtelenítő rendszer is megtalálható, ami az érzékelők és a bemeneteikre csatlakozó csőrendszer fűtéséről gondoskodik.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A robotrepülőgépeken – mint minden más légi járművön – elsődleges adat az eszköz talaj feletti magassága. A magassági adatot több forrásból meg kell erősíteni – erre szolgáló eljárásokkal, eszközökkel a NKE HHK KÜLI KRLT kísérleti berendezéseink végzünk méréseket. A MicroPilot egyetemi kutatásokra is alkalmas teljes konfigurációja rendelkezésünkre áll. A kutatások a megfelelő redundáns elemek kiválasztása és összeintegrálása irányába folynak. A magasságmérő eszközök és eljárások ebben kiemelt szerepet töltenek be.

<sup>9</sup> A szerzők felvétele



A kutatások és kísérletek a „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” témában a



**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

**Alprogram: Adatintegráció**

**Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitársaságok alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai**

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] <http://www.flightglobal.com/news/articles/crashed-turkish-737s-thrust-fell-after-sudden-altimeter-step-change-323388/>
- [2] <http://lea.hamradio.si/~s53mv/radalt/radalt.html>
- [3] <http://www.roke.co.uk/mra/>
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=ReGVMWUKSFY>
- [5] <http://www.micropilot.com/>

Makkay Imre<sup>1</sup> – Papp Tímea<sup>2</sup>

## ROBOTREPÜLŐGÉPEK KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREI<sup>3</sup>

A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási programban jelentős számú autonóm robotrepülőgép működik. A földi irányítás a légi járművekkel folyamatos kapcsolatot tart fenn a repülések során. A repülésirányítás és a hasznos terhek adatainak áramlását - tartalék csatornákat is magába foglaló - rádiókapcsolattal kell biztosítani. A kommunikációs rendszer fő és redundáns elemeinek körültekintő megtervezése és megvalósítása a robotrepülőgépek alkalmazhatóságának az egyik legfontosabb feltétele. Az írásműben kommunikációs elveket és eszközöket áttekintve, az adott feladathoz illeszkedő többszörös átfedésű rendszert ismertetjük.

### ROBOT AIRCRAFT COMMUNICATION SYSTEM

The „Increase Aviation Safety - Bird Scaring Robot Aircraft” research program is planned a significant number of autonomous robotic aircraft operation. The ground control of the aircraft maintains continuous contact during the flight. The flight control and data flow payloads – including a spare channel – the air must be provided. The main communication system with redundant components and careful design and implementation of the applicability of robotic aircraft is one of the most important conditions. The article reviewed the plant communication principles and tools, matched to the project plan described in multiple systems overlap.

## BEVEZETÉS

A robotrepülés a katonai hadviselésnek, háborúknak, világháborúknak és a technika fejlődésének köszönheti kialakulását. Szükség volt egy olyan eszközre, amely úgy jut el az ellenség mélységébe, hogy közben megkíméli a saját élő erőt. Ahogy elkezdődtek a fejlesztések, rájöttek, hogy mennyire sokoldalú ez a találmány és nem csak a hadviselés terén alkalmazhatók. Erről tanúskodik sok hasznos civil kezdeményezés – amiben élen járnak a modellezők is. Ők építették az első madár kinézetű repülő modelleket és felfedezték, hogy az igazi madarak is respektálják a megjelenésüket – különösen a ragadozót utánozókat.

A madárriasztásra használt robotrepülőgépek a reptereken és azok környezetében segítik a biztonságosabb fel- és leszállást. A feladat végrehajtásához elengedhetetlen, hogy folyamatosan irányítani tudjuk a feladat végrehajtására kiküldött „robot-sast”. A kapcsolat rövid idejű megszakadása elegendő ahhoz, hogy repülőnk elveszítse stabilitását és lezuhanjon, összetöri. Egy ilyen esemény megzavarhatja a repülőforgalmat, csúszásokat, késéseket, akár balesetet is okozhat a repülőtéren – pontosan azt, amit el szeretnénk kerülni.

A cikkben az adatátviteli rendszer biztonságát növelő eljárásokat és technikai megoldásokat mutatjuk be – kapcsolódva a tanszéki UAV laboratóriumban végzett kísérletekkel az Új Széchenyi terv TÁMOP programjában „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” téma kidolgozásához.

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, oh.papptimi@gmail.com

<sup>3</sup> Lektorálta: Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

## KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK, ADATTOVÁBBÍTÓ BERENDEZÉSEK

A legtöbb robotrepülőgépnél az adatok továbbítására az ultrarövid hullámsávot használják, itt is elsősorban az UHF<sup>4</sup> tartományt, de alkalmazzák a VHF<sup>5</sup>, a Ku-, az X- és a C sávú<sup>6</sup> tartományokat is.[1] Ezek a frekvenciák biztosítják a zavarmentes, kis teljesítménnyel nagy távolságra történő adattovábbítást. A mikrohullámú tartományt korábban nem alkalmazták, de az elmúlt években a robbanásszerű fejlődésnek köszönhetően megjelentek a mikrohullámú sávban működő berendezések. A mikrohullámok hátránya, hogy az egyenes irányú terjedést az akadályok lehetetlenné teszik, így a földi irányító állomásokat lehetőleg magaslatra kell telepíteni, vagy átjátszóállomásokat kell elhelyezni. Ez a megoldás található meg például a RANGER-nél [2] és a PIONEER-nél is. [3][4]



1. kép A PIONEER robotrepülőgép földi irányító állomása<sup>7</sup>

A kommunikációs rendszer megtervezésekor a döntő lépés kiválasztani a megfelelő antennát (hatótávolság alapján) és berendezést, úgy hogy a robotrepülőgép képes legyen az adott feladat végrehajtására. A megbízhatóságot a hibákra és a kiváltó okokra való odafigyelés biztosítja. Mindemellett az anyagi korlátokat is szem előtt kell tartani.

A megbízhatóság növelését több szempontból meg lehet közelíteni. A legelterjedtebb módszer a csatornák megkettőzése – az elektromágneses kompatibilitás megőrzése mellett.

<sup>4</sup> UHF - Ultra High Frequency, a rádióhullámok 300 MHz-től 3 GHz-ig terjedő része

<sup>5</sup> VHF - Very High Frequency, a rádióhullámok 30 MHz-től 300 MHz-ig terjedő része

<sup>6</sup> C-sáv: 4-8 GHz, X-sáv: 8-12 GHz, Ku-sáv: 12-18 GHz mikrohullámú tartományban

<sup>7</sup> <http://www.hmth.hu/htfuz/htfuz1.pdf>

A berendezések elhelyezkedése alapján a következő típusú kommunikációs rendszereket különböztetünk meg:

- föld - levegő híradás;
- levegő - föld híradás;
- levegő - levegő híradás;
- földi berendezések közötti belső híradás;
- információ felhasználók, együttműködők felé kiépített híradás.

Nyilvánvalóan a föld–levegő, levegő–föld, illetve levegő–levegő híradás csak vezeték nélküli csatornákkal valósítható meg. A földi berendezések között vezetékes megoldás is működhet.

### **A robotrepülőgépekhez használható antennák**

Az antennák hatékonyságát a terepviszonyok, a robotrepülőgép repülési profilja, de az időjárás is jelentősen befolyásolhatják.

A legegyszerűbb és egyben legelterjedtebb antennafajta a körsugárzó (botantenna). Előnye, hogy minden irányban sugároz, de kisebb a hatótávolsága, mint az irányított antennának. Az irányított antennák csak a kitüntetett irányban sugároznak, így a hatótávolság megnövelhető, de mozgó állomások között az összeköttetés fenntartása gyakran nehézségekbe ütközik. A ráláthatóság feltételét úgy a bot-, mint az irányított antennánál biztosítani kell.

A nagy hatótávolságú, nagyméretű robotrepülőgépeken megtalálhatók a műholdas rádióösszeköttetés eszközei. Ilyen például az amerikai PREDATOR [5], vagy a DARK STAR [6], amivel valós idejű információt kaphatnak a világ másik feléről is. Ezek a SATCOM és a MILSAT műholdas adattovábbító berendezéseket használják feladatuk elvégzésére.

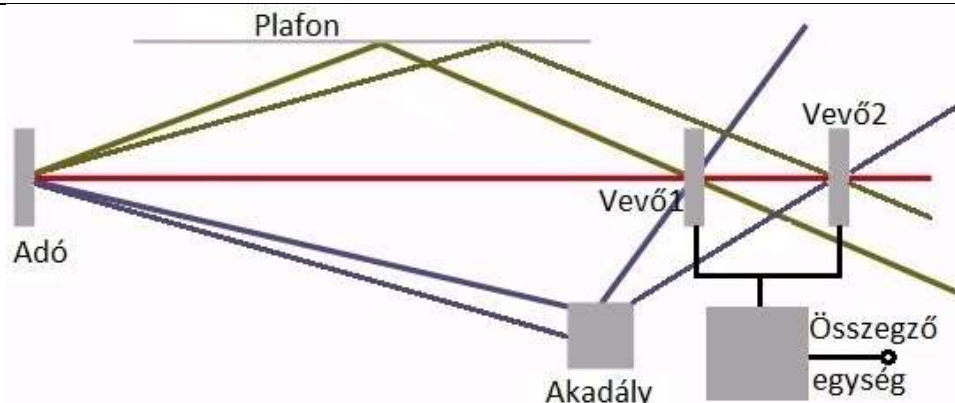


2. kép A DARK STAR Ku-sávú műholdas összeköttetést biztosító antennája<sup>8</sup>

A DARK STAR mágneses fázistolású résantennával követi a kapcsolatot biztosító műholdat. Előnye a korábbi parabola antennás rendszerekhez képest, hogy a sugárnyalábot elektronikusán, a fázistolások változtatásával lehet a műhold irányán tartani.

Az antennákat használhatjuk diversity eljárásban is. Az adó által kisugárzott rádióhullámokat a környező tereptárgyak is visszaverik, ami interferenciát okoz a vevőben. Az antenna gyakran nem csupán egyetlen jelet fog, hanem egy kis késéssel a visszavert jeleket is, és ez rontja a vétel minőségét. A diversity vétel esetében több antenna is veszi a rádiójeleket, és egy összegző egység kiszűri az összes interferenciát. [7][8]

<sup>8</sup> <http://www.hmth.hu/htfuz/htfuz1.pdf>



3. kép Diversity vétel elvi működése<sup>9</sup>

Kis távolságokon elegendő lehet valamely informatikában használt vezeték nélküli adatátviteli eszköz használata. A WLAN hálózati eszközök között már nem ritka az olyan adatátviteli sebességre képes eszköz, amellyel már jó felbontású valós idejű kép is továbbítható. Példaként említhető a WLAN hálózati eszközök között az ASUS WL-330G vezeték nélküli Access Point (4. ábra), ami 2,4 GHz-es sávban sugároz, belsejében 40 m-es, szabad térben pedig 455 m-es hatósugárban. Előnyös kis mérete, alacsony fogyasztása, és olcsó beszerezhetősége miatt. A másik, szintén 2,4 GHz-es sávban, elterjedt vezeték nélküli technológia a Bluetooth. Ez ugyan csak kis működési hatósugárral rendelkezik, de létezik ipari változata is, ami nagyobb távolságokra is képes kapcsolatot létesíteni. Ilyen például a Phoenix Contact FL BLUETOOTH AP nevű terméke (5. ábra). Alacsony átviteli sebességgel bír maximum 100 m-es távolságban. [9]



4. kép ASUS WL-330G WLAN adapter<sup>10</sup>



5. kép Phoenix Contact FL BLUETOOTH AP<sup>11</sup>

A MaxStream XBEE rádiómodul alkalmazására is találunk példát. Ez egy kis hatósugarú vezeték nélküli adatátviteli eszköz, ami kis mérete és tömege miatt megfelelően alkalmazható 100m-es távolsáig. Akár a repülés előtti vagy utáni adatok (repülési útvonal, repülési paraméterek, szenzorok adatai, stb.) le- illetve feltöltésre is alkalmazható. [10]

<sup>9</sup> [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies\\_tech\\_note09186a008019f646.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies_tech_note09186a008019f646.shtml)

<sup>10</sup> [http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006\\_3\\_kucsera.html](http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006_3_kucsera.html)

<sup>11</sup> [http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006\\_3\\_kucsera.html](http://hadmernok.hu/archivum/2006/3/2006_3_kucsera.html)



6. kép MaxStream XBEE rádiómodul<sup>12</sup>

A 6. ábrán látható XBEE rádiómodul hálózatba is köthető. Több elem összekötésével egy többcsatornás hálózatot kaphatunk. A hálózat minden eleme egy időben programozható, és adatok le és feltöltése is lehetséges azonos időben.

### **Az adattovábbítás megbízhatóságának növelése**

A kommunikáció megtervezésén túl a megbízhatóságra is nagy hangsúlyt kell fektetni. A megbízható robotrepülőgépekben használt rendszerek minimálisan két csatornát használnak. Az egyiket zajlik a levegőben lévő robotrepülőgép irányítása (repülési paraméterek, mint például repülési magasság, repülési sebesség, koordináta adatok, stb.), a másikon a hasznos terhek vezérlése. Az irányítócsatornák száma nagyban függ a hasznos terhek számától és jellegétől, így létrehozhatnak több csatornát is.

Az irányítás és az adatátvitel megbízhatóságának növelése érdekében a csatornákat általában megkettőzik, lehetőleg egymástól távol eső frekvenciatartományokban. Így az alapsatornák mikrohullámú sávban működhetnek, a tartalék csatornák ultrarövid tartományban. Ennél több információt még a legkimerítőbb ismertető is tartalmaznak a katonai vonalon használt robotrepülőgépekről, sem műszaki paramétereket, sem a berendezések konkrét típusát. Feltehetően azonban nagyfokú zavarvédelemmel rendelkeznek és titkosító berendezéseket is tartalmaznak.

A zavarvédelemet leggyakrabban szórt spektrumú sugárzással oldják meg. Ez kisebb távolságokra alkalmazható megoldás. Széles frekvenciasávot használ, amit egy normális vevő fehér zajnak érzékel, azonos amplitúdó minden frekvencián. A szórt spektrumú vevő felismeri és dekódolja az adást. Antennának egy megfelelő hosszúságú vezeték is elegendő.[11]

Az elektromágneses kompatibilitás nagyon fontos az olyan helyeken, mint a robotrepülőgépek, ahol sokféle elektromágneses jelet kibocsátó és vevő eszköz kis helyre van összezsúfolva. Érdeemes odafigyelni erre, mert sok kellemetlenségtől megkíméljük magunkat. A lehetőségekhez képest, jól meg kell gondolni, hogy mit hova szereljük fel a robotrepülőgépünkre. Az adók, vevők, különböző repülésben fontos szerepet játszó műszerek, hasznos terhek zavarhatják egymás működését. A megfelelő egymás közötti távolsággal, árnyékolással kiküszöbölhető a zavarás. Nem csak sugárzó zavarással találkozunk, hanem a tápkábelén keresztül vezetett zavart is észlelhetünk. Ezt a fajta zavarást legkönnyebben szűrőkkel, vagy független táplálással oldhatjuk meg. [12][13]

<sup>12</sup> [http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi\\_rw7.html](http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi_rw7.html)

## A MICROPILOT FEDÉLZETI RÁDIÓKOMMUNIKÁCIÓS RENDSZERE

Az 1995 óta működő kanadai MicroPilot [14] a világ egyik legismertebb robotpilóta-gyártó cége. A néhány száz grammos repülő modelltől a gázturbinás légitől 60 országban több mint 600 alkalmazó használja az eszközeit. Népszerűek az iskolákban, egyetemeken, kutató intézetekben, a gazdaság különböző területein, de a védelmi szféra is szép számmal használ robot légi járművein MicroPilot berendezéseket.

A MicroPilot a repülőgép fedélzetére teljes duplex adatátviteli berendezést ajánl. A 2,4 GHz-es ipari csatornán működő berendezéssel, irányított antennával akár 20 km-es hatótávolság is elérhető. A földi állomás irányított antennával követi a repülőgépet, ami megnöveli a hatótávolságot és az adatátvitel biztonságát – különösen a gyakran manőverező, nagy bedöntésű fordulókat végrehajtó légi járművekkel. Az átviteli sebesség 2400 - 19600 baud között választható – a felhasználó igényeinek megfelelően.



7. kép A MicroPilot adatátviteli berendezésének földi állomása<sup>13</sup>

Az adatátviteli berendezés állapota a földi állomás jelzőfényei alapján ellenőrizhető, minde mellett a MicroPilot Horizon program képernyőjén a status sorban a zöld mező (LINK) jelzi a folyamatos adatkapcsolatot. Az adatátviteli csatorna ugyanazokat a funkciókat képes biztosítani, mint a programbevitelnél használt kábeles összeköttetés, így ezen keresztül repülés közben is módosítható az útvonal, a repülési paraméterek és az egyéb beállítások.

A MicroPilot fedélzeti egysége ezen kívül egy rádió távirányító (RCON) vevőberendezést is fogad, amely lehetőséget teremt a földi adó konzoljáról az irányítás átvételére és botkormányos kézi vezérlésre. Ezt alapvetően a fel és leszállás idejére, illetve az útvonal kritikus szakaszain használják akkor, ha az automatikus üzem valamilyen okból nem biztosítható.

<sup>13</sup> Szerzők felvétele

Ez következhet be az adatkapcsolat megszakadásakor – ilyenkor a beállított üzemmódnak megfelelően vagy köröz az utolsó koordináta körül, vagy elindul a leszállóhely felé (ami nem feltétlenül a felszállóhely) majd a kapcsolat helyreálltával folytatja a feladatot.

Amennyiben az RC távirányítóval működő repülőgép veszti el a kapcsolatot, akkor a fedélzeti vevőberendezés FAILSAFE üzemmódra kapcsol és annak beállítása szerint működteti a repülőgépet. A FAILSAFE vagy az utolsó szervo állást őrzi meg, vagy egy előre programozott – legbiztonságosabb földet érést ígérő – beállításra ugrik.



8. kép A MicroPilot Horizon képernyőn látható rádiókapcsolat-információk<sup>14</sup>

A status sorban zölden jelenik meg a GPS vételt jelző mező is – amely a műholdas navigáció vételét igazolja. Ennek hiányában a robotrepülés nem kezdhető meg.

A fentiekén túl a fedélzeten elhelyezhetők még kamerák képét lesugárzó videó adók. Az adók frekvenciasávjának, teljesítményének, antenna-elhelyezésének megválasztásával el kell érni, hogy az irányítást biztosító létfontosságú eszközöket ne zavarja. Mindez gondos tervező és kivitelező munka eredményeként elérhető, de szűk térben egymástól független rendszerek rádió adását és vételét megoldani nem egyszerű feladat.

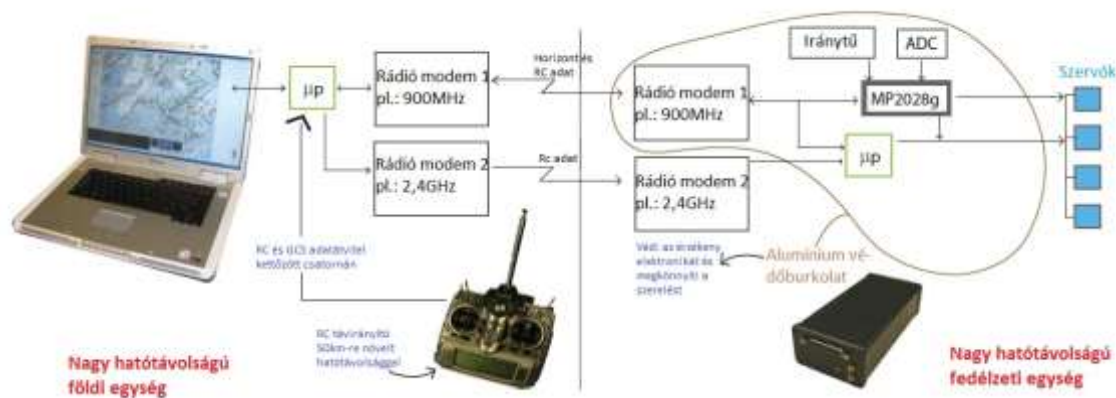
A fedélzeti rádió berendezések elektromágneses kompatibilitásának (EMC) biztosítása a táplálás szűrésével, ha nem elegendő, akkor független táplálással kezdődik. A következő kihívás az adóberendezések szórt nagyfrekvenciás jeleket kellő árnyékolással megszüntetni, a végső feladat, pedig az antennák lehető legtávolabbi elhelyezése – úgy, hogy a funkciójukat betölthessék.

A rádiókapcsolat biztonsága növelhető, ha ugyanarra a feladatra több csatornát párhuzamosan tudunk üzemeltetni. A MicroPilot ennek az igénynek a MP 2128<sup>g2</sup> legújabb, negyedik generációs robotpilótákat felsorakoztató fedélzeti és Horizonmp földi irányító rendszerrel felel meg. A rádiózavarok kizárására szórt spektrumú rádiócsatornákat, illetve kettőzött duplex adatcsatornákat ajánlanak.

<sup>14</sup> Szerzők felvétele



Az MP2028 LRC/2128LRC (Long Range Communication) változatokhoz két hullámtartományban – pl.: 900 MHz és 2,4 GHz – működő rendszert kínálnak. [15] Az 1W-os adóteljesítmény a hatótávolságot 50 km-re növeli. A kettőzött rádiócsatornák – a fedélzeten a robotpilótával együtt – egy-egy kompakt egységet alkotva a professzionális felhasználók számára ideális megoldást jelentenek.



9. kép A MicroPilot MP2028 LRC/2128LRC földi és fedélzeti egysége<sup>15</sup>

A föld-levegő kapcsolat megbízható fenntartására a MicroPilot folyamatosan keresi a legjobb megoldásokat, ezeket a redundáns és fokozottan zavarvédett csatornák alkalmazásával kívánják elérni. Az egyik legsikeresebb robotpilóta gyártó, tehát a fedélzeti rendszerei fejlesztése mellett a kommunikáció és más kapcsolódó eszközök, pl.: szenzorok, megjelenítés terén is élenjáró eredményeket ér el.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A robotrepülőgépekkel folytatott madárriasztás egyik kényes feladata a szünetmentes kapcsolat biztosítása a résztvevők között. Mivel a tevékenység repülőterek, más működő légi járművek közvetlen környezetében folyik, a rádiócsatornák megbízható működése létfontosságú – minden résztvevő számára. A tanszéki kísérletekkel és a további lehetőségek felkutatásával arra a következtetésre jutottunk, hogy a jelenleg rendelkezésre álló egycsatornás adatátviteli rendszerünket csak korlátozásokkal tudjuk javasolni. A két duplex adatcsatorna már szerepel a robotpilótákat gyártók ajánlataiban, ami azt bizonyítja, hogy a technológia megérett az igény kielégítésére és a megvalósításra is megvan a lehetőség.

<sup>15</sup> <http://www.micropilot.com/products-mp2128lrc.htm>

A kutatások és kísérletek a „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” témában a



**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

**Alprogram: Adatintegráció**

**Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitűeszközök alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai**

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WIKIPEDIA: Microwave, e-dok.  
url: <http://en.wikipedia.org/wiki/Microwave> (2012. 03. 21.)
- [2] Wikipedia: RUAG Ranger, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/RUAG\\_Ranger](http://en.wikipedia.org/wiki/RUAG_Ranger) (2012. 03. 21.)
- [3] WIKIPEDIA: AAI RQ-2 Pioneer, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/AAI\\_RQ-2\\_Pioneer](http://en.wikipedia.org/wiki/AAI_RQ-2_Pioneer) (2012. 03. 21.)
- [4] HADITECHNIKAI FÜZETEK 1. SZÁM: Pilóta nélküli felderítő repülőeszközök. Honvédelmi Minisztérium Haditechnikai Intézet, Budapest, 1999, e-dok
- [5] WIKIPEDIA: General Atomics MQ-1 Predator, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Atomics\\_MQ-1\\_Predator](http://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator) (2012. 03. 21.)
- [6] WIKIPEDIA: Lockheed Martin RQ-3 DarkStar, e-dok.  
url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_Martin\\_RQ-3\\_DarkStar](http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_RQ-3_DarkStar)
- [7] VOLKSWAGEN MAGYARORSZÁG: Műszaki lexikon, e-dok. url:  
[http://www.volkswagen.hu/volkswagen\\_koeruel/innovacio/m\\_szaki\\_lexikon/diversity\\_antennen.html](http://www.volkswagen.hu/volkswagen_koeruel/innovacio/m_szaki_lexikon/diversity_antennen.html)
- [8] CISCO SYSTEMS: Multipath and Diversity, e-dok.  
url: [http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies\\_tech\\_note09186a008019f646.shtml](http://www.cisco.com/en/US/tech/tk722/tk809/technologies_tech_note09186a008019f646.shtml)
- [9] KUCSERA PÉTER: Moduláris felépítésű mobil robotikai alkalmazások kialakítási szempontjai. Hadmérnök I. évfolyam 3. szám, 2006, e-dok.
- [10] TURÓCZI ANTAL: Négyrotoros pilóta nélküli helikopter fedélzeti elektronikai rendszere. Hadmérnök, Robothadviselés 7. Tudományos Szakmai Konferencia, 2007, e-dok.url:  
[http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi\\_rw7.html](http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles7/turoczi_rw7.html)
- [11] <http://www.szabilinux.hu/konya/konyv/2fejezet/2fvnatvk.htm>
- [12] RÁDIÓAMATŐRÖK TANKÖNYV: Elektromágneses összeférhetőség, villámvédelem, biztonságtechnika, e-dok. url:  
[http://tankonyv.ham.hu/A\\_vizsga-DJ4UF/?cid=a21](http://tankonyv.ham.hu/A_vizsga-DJ4UF/?cid=a21)
- [13] WIKIPÉDIA: Elektromágneses kompatibilitás, e-dok. url:  
[http://hu.wikipedia.org/wiki/Elektrom%C3%A1gneses\\_kompatibilit%C3%A1s](http://hu.wikipedia.org/wiki/Elektrom%C3%A1gneses_kompatibilit%C3%A1s)
- [14] MicroPilot hivatalos oldala  
url: <http://www.micropilot.com/> (2012. 03. 18)
- [15] <http://www.micropilot.com/pdf/lrc-drawing.pdf> (2012. 03. 18.)



Makkay Imre<sup>1</sup>

## ROBOTREPÜLŐGÉPES MADÁRRIASZTÓ RENDSZER<sup>2</sup>

*A „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási program egy adott repülőtéren forgalmához illeszkedő felderítő/riasztó rendszer kidolgozását tűzte ki célul. A robotok fejlődése már lehetővé teszi „madár-méretű” légi jármű megépítését, amely – megfelelő „ruházatban”, az adott környezet legdominánsabb ragadozója képében - a repülőgépek útjából elriasztja a madarakat. A fenyegető viselkedésű madár-imitátorok az adott térben csak a szükséges ideig tevékenykednek – csökkentve a fölösleges zaklatás és a megszokás lehetőségét. Jelen írásmű az általános követelményeket, a rendszer felépítését és az alkalmazás lehetséges változatait ismerteti. Az egyes elemek részletes bemutatását a kutatási fázisnak megfelelő ütemezéssel tervezzük.*

### **BIRD-SCARING UAV SYSTEM**

*The "Increase Aviation Safety - Bird-scaring Robot Aircraft" research program is aimed to development intelligence/warning system - adopted to actual airport traffic. The robots evolved to allow "bird-sized" aircraft construction, which is -appropriate "dress" the most dominant predator of the environment in the guise of - deterring birds from the path of airplanes. The bird imitators operate in space only as long as necessary - reducing unnecessary harassment and the possibility of habit. This paper works to the general requirements, system layout and describes the possible options for the application. The detailed description of each element in the research phase, we plan an appropriate schedule.*

## BEVEZETÉS

A repülőgéppel ütköző madarak olyan súlyos sérülést (hajtómű leállást, vezérsíkok működésképtelenségét, kabintető törést) okozhatnak, amely a további repülést megnehezíti, sőt akár a gép lezuhanásához is vezethet. Számos technikai megoldás, rendszabály született a repülőterek környezetének „madármentes” üzemeltetésére. Az élettér, fészkelő hely, táplálékszerzés lehetőségének csökkentése az egyik természetes megközelítés. A repülőterek környékén elhelyezkedő nagy vízfelületek, szeméttelpek vonzzák a madár csapatokat. A földi rágcsálók számának csökkentésével a ragadozó madarak és a guruló utakat veszélyeztető földi ragadozók megjelenését kívánják csökkenteni.

Egy korábbi tanulmányban már körvonalaztuk a „repülőtéren madárütközés-veszélyt csökkentő rendszer” főbb elemeit és a megoldáshoz vezető eljárásokat. [1] Az eltelt időben jelentős munka folyt a megvalósítás érdekében. Az egyetemi „Repülésbiztonság növelése - madárriasztás robotrepülőgépekkel” kutatási program ehhez további elméleti munkákkal és kísérleti minták elkészítésével járul hozzá. Az egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszékének oktatói és hallgatói a szerteágazó, egyenként is nagy szakmai hozzáértést követelő rendszer elemeinek kidolgozásában és a kísérletek végrehajtásában vesznek részt.

<sup>1</sup> ny. okl. mk. ezds. egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Palik Mátyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

A kisméretű, korszerű robotrepülőgépek – a tanszéki kísérleti laboratórium eszközein folytatott vizsgálatok alapján – alkalmasak (fokozott biztonsági rendszabályok betartása mellett) a repülőterek szigorú feltételeinek megfelelő üzemeltetésre. Munkánk egyik fő területe éppen a fedélzeti redundáns elemek követelményrendszerének kidolgozása, amely az eredmények függvényében kerül további szakmai cikkekben publikálásra.

## ÜTKÖZÉSVESZÉLY A FÖLDÖN ÉS A LEVEGŐBEN

### Élőlények, amelyek veszélyt jelenthetnek egymásra

Az ütközésekért az első számú felelős természetesen az EMBER, aki fejébe vette, hogy – bár semmilyen szerve erre nem jogosítja – repülni próbál, mint a madár. Az első ütközést - amiről már kép is készült – egy sólyom bánta, de az óta számos repülőgép és emberélet is e nem kívánt találkozások listáján szerepel.



1. kép Madárütközés 1916-ban<sup>3</sup>

A repülőgépek a nekifutás-, vagy a leszállást követő, nagy sebességű gurulás közben találkozhatnak olyan nagytestű állatokkal – nyulak, kutyák, őzek, szarvasok (egzotikus tájakon még érdekesebb élőlényekkel, mint zsiráf vagy elefánt) amelyek a futóművet működésképtelenné teszik. A repülőtereket védő kerítések ugyan ezt hivatottak megakadályozni mégis – hazánk legnagyobb légikikötőjében is – előfordulnak kóborló állatok.

Ha a gép a földi élőlényektől megmenekült az első néhány-száz méteres magasság – fölfelé és lefelé is – a pilóták és a repülőgép konstruktőrök munkáját minősítő próbakő lehet, ugyanis itt találkozhatnak leggyakrabban azokkal a madarakkal, akik a szezonális vonulásuk, vagy a napi élelemszerzésük céljából szintén ebben a térben tartózkodnak. A helyzetet nehezíti, hogy a felszálló repülőgépeknek még – a leszállóknak már – nincs elég sebességük és magasságuk, hogy egy hirtelen hajtómű tolóerő csökkenést korigáljanak.

<sup>3</sup> <http://graphics8.nytimes.com/images/2009/01/20/nyregion/21bird.cityroom.480.jpg>

A 2009. január 9-i Hudson folyóra kényszerleszálló utasszállító repülőgép – a pilóta gyakorlottságán kívül - annak is köszönheti a megmenekülését, hogy viszonylag magasan (3200 lábon) következett be a teljes hajtóműleállítás, ami a még teli tankkal repülő géppel is hosszas (~2') „vitorlázást” tett lehetővé. A hajtómű nélküli leszálláshoz legalább 35000 láb magasságot ír elő az A320 szabályzata. Itt ennek a tizedére kellett „repülőtéri” helyzetet találni és a folyó – bár a víz a betonhoz hasonlóan „kemény” – a hosszú kilebegtetéshez és minimális sebességű leérkezéshez jó választásnak bizonyult. Chesley „Sully” Sullenberger jól ismerte a pilóták egyik legfontosabb arany szabályát: „- *felszálláskor mindig gondoldj arra is, hova fogsz leszállni... ha leáll a motor -*”.

A világon számos szervezet foglalkozik az ütközések okainak és elkerülés lehetőségeinek vizsgálatával. A repülőterekre kötelező megelőző rendszabályokat, felszereléseket és ügyeleti szolgálati egységeket írnak elő – mindemellett a baleseti statisztikák nem javulnak [2] és a rendszeresen nyilvánosságra hozott, kiértékelte események alapján is látszik, hogy a problémára sürgősen megoldást kell találni. A célhoz – elkerülni a nem kívánt találkozást – két út vezet, de nem azonosak a feltételek:

### **Kitér az ember**

Az „okosabb enged” lehetne akár a megoldás, de ebben az esetben mindez nem csak rajtunk múlik. Ugyan mi rendelkezünk számos olyan információval, amivel a madarak nem – tudjuk mikor és merre szeretnének repülni, milyen magasan, milyen sebességgel és azt is látjuk – egyre jobb radarjaink segítségével – hogy a tervezett útvonalunkon találkozhatunk-e nagyobb madárcsoporttal. A madárvonulásokat az egész világon különös figyelemmel kísérik – a természetet minél érintetlenebbül hagyni vágyók [3] ugyanúgy, mint a legfejlettebb technikai eszközöket használó légi közlekedés irányítói és pilótái. Az utóbbiak „érdeklődése” arra irányul, hogy az adott évszak, adott napjának szakában milyen esélyük van a találkozás elkerülésére – ezért szorgalmasan tanulmányozzák a vonulások térbeli és időbeli szokásait. [4][5] A pillanatnyi időjárás is jelentősen befolyásolhatja a vonulás útvonalát és ütemét – emiatt a radarképekkel aktualizált madár-ütközés veszélyt folyamatosan közlik az éppen úton lévőkkel. [6] A légi járművek vezetőinek – még ha időben kaptak is információt az előttük haladó madárrajról – csak korlátozott mértékű (-magasságú, -bedöntésű, -sugarú) manőverre lehet módjuk, hogy az ütközést elkerüljék. Az általános szabály, hogy a repülőgép emelkedni könnyebben tud, mint egy madár, ezért az elkerülést ilyen irányba célszerű megkezdeni.

### **Térjen ki a madár!**

Megpróbáljuk különféle jelzésekkel – fény, hang, mozgó sziluettek – elriasztani az utunkba kerülőket. A levegőben a repülőgépek többsége – a nagy sebességkülönbség miatt – már nem tudja jelezni, hogy „húzódj félre, mert különben pórul jársz”. A madarak kiválóan megbirkóznak a fajtársaik dimenziójába tartozó légi járművek elkerülésével (többen tanúi voltak már a termikben köröző golyák „kommunikáció-készségének” amikor utat engednek a jóval ügyetlenebb vitorlázó repülőgépeknek), de az egyre nagyobb sebességű és (helyesen) csökkenő zajú gázturbinákkal hajtott repülő eszközökkel szemben már kevés az esélyük.

„Madármentes” repülőtéri környezet:

- A környezeti feltételek nem könnyen és nem minden esetben biztosíthatók maradéktalanul (pl.: vízparthoz-, agrár területekhez-, nyitott hulladéklerakókhoz közeli repülőterek esetén).

- A túlzott „sterilizálás” - élőhelyek, fészkelő helyek elpusztítása, táplálékforrások kiiktatása esetenként igen körülményes eljárásokat és más – az élővilág szempontjából kifogásolható – hátrányokat is okozhat. Ugyanígy heves ellenállásba ütközik a mezőgazdasági művelt területek korlátozása a repülőterek körül.
- A repülőterek megközelítési útvonalán – 13 km-re a küszöb előtt – már fokozott ütközési veszélyzóna kezdődik ezért a madárriasztást is legalább itt el kell kezdeni [7] és folytatni a repülőtér fölött a más irányú pályák hasonlóan kiterjesztett irányain. A Liszt Ferenc repülőtér környezetében (2. kép) ez egy olyan 600 m-es magasságú „dobozt” jelent, ami a pályák fölött is legalább 300 m magas. Ilyen nagy teret folyamatosan „tisztán tartani” igen komoly feladat és a ráfordított energia hatékonysága is megkérdőjelezhető.



2. kép Példa a Liszt Ferenc repülőtér madár felderítési-riasztási útvonalaira<sup>4</sup>

A megoldást a „kölcsonös légtérhasználat” jelentheti: amikor szükséges, a madarak hagyják szabadon a kritikus légtérrel – erre a saját életösztönük parancsával „szólítjuk fel” Őket – majd az igény elmúltával adjuk vissza a számukra létfontosságú légtérrel. Ez ugyan nagy odafigyelést és kifinomult technikát igényel, de célravezetőbb, mint „lebetonozni” a levegőt (is).

A „doboz” forgalomhoz igazított, időszakos kiürítése a helyi madarak számára egy idő után „rutinná válik” és nem is veszik zaklatásnak. (Egy vidéki repülőtéren élő parlagi sas párról mesélték, hogy rendszeresen a pálya közepén telepedtek le és a beérkező gépeknek pár métert „félrelépve” adtak utat. Ők soha nem hibáztak – de a pilóták adrenalin szintje bizonyára megemelkedet...)

Minden repülőtér más-más környezeti sajátosságokkal működik, ami nem csak a repülési profil és forgalom terén nyilvánul meg. A város-közeli madár populációk és a tágas vidéki mezők, erdők madarai eltérően viselik a repüléssel járó mozgásokat, zajokat.

<sup>4</sup> GoogleEarth felhasználásával a szerző szerkesztése

A „helyi madarak” megtanulják a szabályokat, alkalmazkodnak a feltételekhez, míg a vándormadarak mindig új környezetben a „törvényeket” nem ismerve konfliktusokat okozhatnak. A madarak lelkét, szokásait és a természet működését mi is tiszteletben kívánjuk tartani – éppen ez a megoldás alapja – de mindannyiunk épsége érdekében, rövid időre ŐK TÉRJENEK KI!

## A ROBOTREPÜLŐGÉPES MADÁRRIASZTÁS TAKTIKÁJA

### Madarak és robotok

A repülőterek közelében élő madarak – ugyanúgy, mint az átvonulók – közös jellemzője a táplálékszerzés, szaporodás és túlélés ösztöneikbe írt parancsa. A természetes tápláléklánc adott szemében, a veleszületett kód alapján keresi az alatta-, és próbálja elkerülni a fölötte lévőket minden madár. Ez az életösztön, amely erősebb és maradandóbb, mint az esetleges váratlan fény, vagy zaj, amit elég hamar kitanulnak – látjuk a városi madarakat, hogyan közlekednek az emberek, járművek között.

Jól működik a közvetlen ragadozó megjelenése, azonnal reagálnak a prédamadarak (egyik sem akar az étlapra kerülni). A hatás lehet szétrebbentő, vagy éppen csoportba tömörítő – ez függ a préda és a ragadozó fajtájától is. A gyors röptűek elől csoportosan menekülnek, míg a lassabb, vitorlázó elől inkább csak elbújnak, elhúzódnak. A rajban minden madár arra számít, hogy az megvédi a támadótól ezért – mint az apró halak – együtt menekülnek. Az üldöző ragadozó madár akár terelni tudja a madártömeget.



3. kép A vándorsólyom elől a seregélyeknek csak a csoport nyújthat (számtani) esélyt<sup>5</sup>

Ez a terelő, eltávolító filozófia az alapja a robotrepülőgépes madárriasztásnak is. A robotrepülőgéppel – amely ma már megtévesztő hasonlósággal tud a ragadozó madarak helyébe lépni – pontosan az elvárt irányba lehet a védett térből a madarakat kiterelni. Ez a céltudatos „takarítás” a légteret egy adott időrésben nagymértékben biztonságosabbá tudja tenni. A nagy forgalmat lebonyolító repülőterek esetében ez különösen fontos képesség, hiszen a „söprésre” csak percek állnak rendelkezésre.

<sup>5</sup> <http://www.arkive.org/peregrine-falcon/falco-peregrinus/image-G43178.html>

Az idomított ragadozó madarakkal folytatott kísérletek nagyon biztatóak – a hatást illetően – azonban az eredmény közel sem áll arányban a befektetett energiával. Az élő egyedek nem képesek irányított tereléseket percre pontosan előírt forgatókönyv szerint – mintegy  $165 \text{ km}^3$  bármelyik szögletében – elvégezni. A kísérletek vitathatatlan érdeme, hogy megmutattak egy módszert, amellyel a levegő lakóinak jelezni tudjuk, hogy szabad utat kérünk, most mi szeretnénk ott repülni.

A robotrepülőgépek „öltöztetét” a Magyarországon legjellemzőbb ragadozó madaraktól lehet „kölcsonözni”: Vörös vércse/*Falco tinnunculus*; Darázsölyv/*Pernis apivorus*; Vörös kánya/*Milvus mivus*; Kerecsensólyom/*Falco cherrug*; Barna héja/*Circus aeruginosus*; Kígyászölyv/*Circastus gallicus*; Barna kánya/*Milvus migrans*; Kabasólyom/*Falco subbuteo*; Vándorsólyom/*Falco peregrinus*; Halászsas/*Pandion halisetus*; Réti sas/*Haliaeetus albicilla*; Törpe sas/*Hieraaetus pennatus*; Parlagi sas/*Aquila heliaca*; Békászó sas/*Aquila pomarina*; Héja/*Accipiter gentilis*; Karvaly/*Accipiter nisus*; Kis sólyom/*Falco Columbarius*; Kék vércse/*Falco vespertinus*; Szirti sas/*Falco chrysaetos*; Egerészölyv/*Buteo buteo*. A kellő hatás érdekében mindenképpen a helyi populációt, annak szokásait jól ismerő ornitológusok segítségét kell kérni. Így ötvöződik a biológia az elektronikával, gépészettel, aerodinamikával és próbáljuk tudásunk legjavával megtalálni a mindenki számára elfogadható megoldást.

## Robotok és repülők

A ragadozó madár alakja és viselkedése szükséges, de még nem elégséges a sikerhez. A már jelzett nagy tér bármelyik pontjában tevékenykedni képes, nagy megbízhatóságú, légi jármű minősítésű (de vezetőt a fedélzetén nem hordozó) repülő eszközökről van szó, amelyek mozgását adott esetben nagy forgalom mellett kell irányítani. A robotrepülőgépek – civil légtérben – csak elkülönítéssel repülhetnek. Ennek határait és időbeli korlátait nagyon szigorúan előírják. A repülőterek többszintű irányító szolgálatainak a CTR<sup>6</sup>-en belül minden légi jármű helyzetét, mozgását pontosan ismerni és követni kell. A légi forgalom tervezhető, de – különösen az érkező – ütemezése csak jelentős „rátartásokkal”. Ennek oka, hogy a járművek indulása sem mindig menetrendszerű és a fogadó repülőtér forgalma is könnyen okozhat sok-sok perces eltolódást.

A közforgalmi repülőterekre szabványos megközelítési eljárások vonatkoznak, melyeket az AIP<sup>7</sup>-ben teszik közzé [8]. Ezek mutatják a különböző irányú pályákon közlekedő repülőgépek előírt repülési profilját. A madárriasztási feladatokat, az aktuális forgalmat megelőző – lehető legközelebbi – időrésekben célszerű végrehajtani. Mivel az időrések az egymást követő fel- és leszálló gépek közötti minimális távolság érdekében kerülnek kialakításra, a pontos kezdés és befejezés az adott pálya forgalmától függ.

A madárriasztást végző robotrepülők alapvetően előre koreografált „takarítási” profilt repülnek, de lehetnek különleges, „ad hoc” feladatok is, például kisebb csoportok, de akár egy-egy madár célirányos kiterelése, vagy a védett tér felé tartó madárvonulás irányának megváltoztatása. Azt is meg kell akadályozni, hogy a vonuló madarak a védett zónában válasszanak pihenő-, étkező helyet maguknak

A „rutin” feladatok megtervezéséhez a helyi madarak szokásait jól ismerő szakemberek véle-

<sup>6</sup> CTR – Aerodrome Control Zone (repülőtéri irányítói körzet)

<sup>7</sup> AIP – Aeronautical Information Publication (Légiforgalmi Tájékoztató Kiadvány)



ményét is ki kell kérni. A profilok változhatnak a napszaknak, évszaknak megfelelően. Az eredményeket folyamatosan naplózva ki lehet dolgozni a helyre és időszakokra legoptimálisabb eljárásokat. Az események rögzítésére, a hatékonyság ellenőrzésére érzékelő rendszer kiépítése szükséges. A kritikus pontokon telepített akusztikai, optikai-, infra-, mikrohullámú érzékelők és őrzővizsgálást végző légi hordozókon működő felderítő eszközök jelzik a madáraktivitást az irányító torony és a madárriasztó szolgálat számára.

Azt, hogy mikor és hol repülhet robotrepülőgép madárriasztási feladattal a CTR légtérben egyértelműen a forgalomért felelős repülésirányító szolgálat határozza meg. A madárriasztó alegység számára kiadja az adott feladatra (profil, térrész és időtartam) vonatkozó a repülési engedélyt és folyamatosan követi – kihelyezett indikátorokon – a robotrepülőgépek tevékenységét.

A robotrepülőgépek előkészítését és közvetlen irányítását az erre felkészített szakszolgálat hajtja végre. A szolgálat gyűjti, értékeli a felderítő szegmens által szolgáltatott adatokat és kidolgozza a következő riasztási feladatokra vonatkozó javaslatait.

## A ROBOTREPÜLŐGÉPES MADÁRRIASZTÁS TECHNIKÁJA

### Felderítő-, ellenőrző alrendszer



4. kép Az aktuális madárforgalom felderítése – még hagyományos eszközökkel<sup>8</sup>

A madárriasztás kevésbé látványos, de mégis legfontosabb része a madarak pillanatnyi helyzetének, mozgásának felmérése. A NOTAM<sup>9</sup>-ok általános – jórészt évszakra vonatkozó – madárinformációkkal szolgálnak. Az irányító torony legtöbbször a futópálya látható tartományáról tud vizuálisan pl.: távcsővel informálódni (4. kép).

<sup>8</sup> <http://www.flickr.com/photos/jitze1942/3133822075/sizes/m/in/photostream/>

<sup>9</sup> NOTAM - Notice To Airmen (Bármely légiforgalmi berendezés, szolgálat, eljárás létesítéséről, állapotáról, változásáról vagy veszély fennállásáról szóló értesítés, amelynek idejében való ismerete elengedhetetlenül szükséges a repülésben érdekelt személyzet részére. Az értesítés szétosztása távközlési eszközökkel történik.)

Azt, hogy mi történik a be és kivezető 10 -15 km-es irányon csak a speciális madár-érzékelő radarokkal [9][10][11][12] lehet látni.

Az egyetemi kutatási program egyik fontos eleme a madarak jelenlétét, mozgását érzékelő felderítő-, ellenőrző alrendszer elvi felépítésének kidolgozása és ezzel kapcsolatos - a koncepció igazolását szolgáló – kísérletek végrehajtása. A kutatások eredményeit szakmai fórumokon ismertetjük, szakcikkekben publikáljuk.

### **Madárriasztás végző alrendszer**

A madár formáját és repülési képességeit utánozó, rádió távirányítású repülőmodellekkel már több sikeres kísérlet folyt – bizonyítva a stratégia életképességét – de nem haladta meg a kezelő által még követhető kb. másfél km-es hatótávolságot. [13][14] Amint azt korábban már jeleztük, a leszálló gépeknél az igazán kritikus szakasz úgy 13 km-re a küszöb előtt, a siklópálya 600 m alatti tartományában kezdődik - a felszállók ezt a magasságot jóval rövidebb távolságon elérik.

Az egyetemi kutatócsoport – együttműködve külső oktatási és fejlesztési szervezetekkel – a látótávolságon kívül repülő, fokozott megbízhatósági követelményeknek eleget tevő robotrepülőgép rendszertervén és kísérleti mintáján dolgozik. Az eddigi eredmények biztatóak, a szakmai munka a cikk írásának időpontjában is folytatódik.

### **Földi irányító alrendszer**

Feladata a folyamatos kapcsolattartás az ATC<sup>10</sup>-vel, és annak igénye szerint a felderítő és a riasztó alrendszerek működtetése (a bevetési profilok megtervezése, beprogramozása, az indítás és visszaérkezés biztosítása, az adatok kiértékelése és továbbítása). A technikai felszereltségnek biztosítania kell az irányító alrendszer folyamatos üzemét, a szünetmentes villamos áramellátást, a tartalékok aktivizálhatóságát.

Az irányító személyzet szakszolgálati jogosítással kell, hogy rendelkezzen. Ennek követelményeit – harmonizáltan a jelenlegi és bevezetésre tervezett hatósági előírásokkal – szakértők bevonásával végzett kutatómunkával kívánjuk kidolgozni. A földi irányító alrendszerre vonatkozó műszaki és személyi követelmények – az egyetemi kutatócsoport közreműködésével – a munka haladásának ütemében kerülnek publikálásra.

## **ZÁRÓ GONDOLATOK**

A „robotrepülőgépes madárriasztó rendszer” az eddigi eljárásoknál hatékonyabb, biztonságosabb és eredményét tekintve gazdaságosabb megoldást kínál a világszerte jelentkező repülőgép-madár ütközések számának csökkentésére. A növekvő légi forgalom és a sikeres természetvédelmi rendszabályok eredményeként megsokasodott madárpopulációk meg kell, hogy férjenek egymással közös légtérben úgy, hogy az a lehető legkevesebb fájdalommal járjon minden résztvevő számára.

A kutatási program célja a legkorszerűbb elektronikai eszközök, robotok alkalmazásával elérni, hogy a természetes nyelven közölt – HELYET KÉRÜNK – eljusson a címzettekhez úgy,

---

<sup>10</sup> ATC – Air Traffic Control (Légiforgalmi irányítás)

hogy közben sem életük, sem testi épségük nem kerül veszélybe.

Az írásmű célja a figyelemfelkeltés és tájékoztatás – nem titkolva, hogy számítunk a kutatási program iránt érdeklődők, abban részt venni kívánók jelentkezésére.



**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”**  
**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

**Alprogram: Adatintegráció**

**Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitűeszközök alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai**

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Makkay\\_I-Pokoradi\\_L-Vanya\\_L.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Makkay_I-Pokoradi_L-Vanya_L.pdf)
- [2] <http://wildlife-mitigation.tc.faa.gov/wildlife/gallery.aspx#0>
- [3] <http://www.partnersinflight.org/>
- [4] <http://www.usahas.com/bam/>
- [5] <https://www.notams.faa.gov/common/birdtam.html>
- [6] <http://www.detect-inc.com/merlin.html>
- [7] <http://fera.defra.gov.uk/wildlife/birdManagement/offAirfieldMonitoring.cfm>
- [8] [http://ais.hungarocontrol.hu/eaip\\_hungary\\_2012-04-05/](http://ais.hungarocontrol.hu/eaip_hungary_2012-04-05/)
- [9] <http://www.detect-inc.com/merlin.html>
- [10] <http://www.vogelradar.nl/>
- [11] <http://fera.defra.gov.uk/wildlife/birdManagement/birdRadar.cfm>
- [12] <http://www.accipiterradar.com/page/bird-strike-prevention>
- [13] <http://www.birdraptor.com/>
- [14] <http://www.greenx.nl/home.html>



Nagy András<sup>1</sup>

## MÉRŐRENDSZER SIKLÓERNYŐK REPÜLÉSDINAMIKAI VIZSGÁLATÁHOZ<sup>2</sup>

*E cikkben a siklóernyők fordulási képességének vizsgálatára alkalmas mérőrendszer kívánok bemutatni. A fordulók elemzéséhez alapvető fontosságú a repülési nyomvonal utólagos feldolgozás céljából történő rögzítése. A mérőrendszer további mért jellemzői a jobb és a bal félszárnyon keletkező légerő, amelyek a jobb, illetve a bal oldali bekötő karabinerre ragasztott nyúlásmérő bélyeg segítségével biztosítható. Ezzel a rendszerrel meghatározható a fordulókör sugara és a két félszárny közötti erőkülönbség, így vizsgálható azok összefüggése. A teljes mérőrendszer tervezése, gyártása és kalibrálása a Tanszék elektronikai laboratóriumában történt. A mérőrendszert eddig 6 repülés során teszteltük és alkalmaztuk. E repülések alatt rögzített és kiértékelt adatok is ismertetem az alább cikkben.*

### **MEASURING SYSTEM FOR INVESTIGATE FLIGHT DYNAMICS OF PARAGLIDERS**

*In this paper a measuring system is presented for in-flight measuring the turning ability of paragliders. In order to analyse these behaviours, the flight track (among others) has to be recorded for post processing purposes. The measuring system presented here records other additional data like the force developed on left and right wing separately. These forces are measured based on strain gauges installed on left and right karabiner. With parameters measured it is possible to determine the relation between force difference and turning radius. The whole system has been designed, manufactured and calibrated in the laboratory of the Department of Aircraft and Ships. The system has been tested and applied in several flights and proved its operational capability.*

## BEVEZETÉS

A siklóernyőzés mára igen elterjedt sportrepülési ágazattá vált. Minden évben, nagyszámban képez pilótát Magyarországon a több mint 60 regisztrált siklóernyős iskola [2]. A sportág gyors fejlődését az egyre nagyobb erőforrásokat igénylő fejlesztések tették lehetővé, egy mai modern siklóernyő repülési jellemzőiben inkább hasonlít sárkányrepülőgépre, mint ejtőernyőre. A repülésdinamikai vizsgálatok keretén belül meghatározhatóak a hossz-, kereszt-, és függőleges tengely menti mozgások, statikai és dinamikai stabilitások. Ezen, a merevszárnyú repülőgépek vizsgálatára elterjedten módszereken kívül siklóernyőknél vizsgálható a szárny alakstabilitása is.

## SIKLÓERNYŐK REPÜLÉSDINAMIKAI SAJÁTOSSÁGAI

A siklóernyők repülésdinamikai és stabilitási szempontból speciális légi járművek. Sajátossága többek között abból adódik, hogy a szerkezet súlypontja mélyen a szárny alatt van, így stabili-

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Repülőgépek és Hajók Tanszék, nagyand@rht.bme.hu

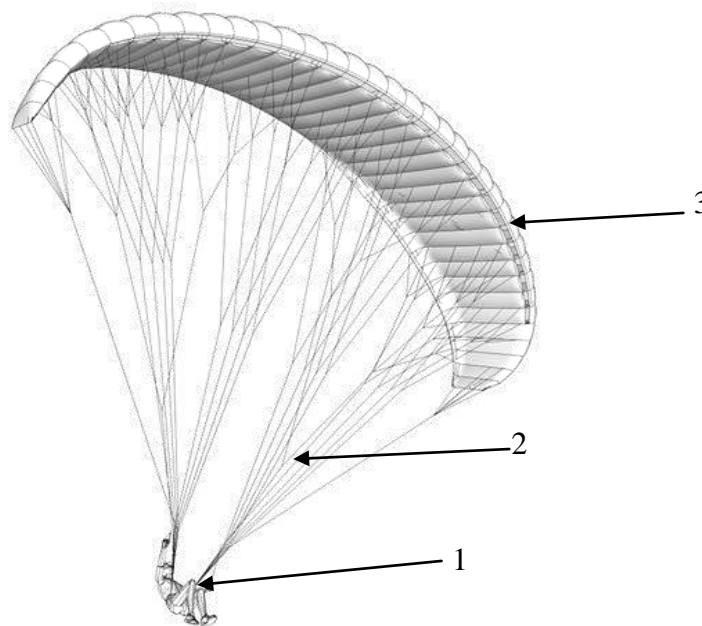
<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

tása igen nagy mértékű.

A siklóernyők szerkezete alapvetően az alábbi részekre bontható (1. ábra):

1. beülőben helyet foglaló pilóta;
2. zsinórzat;
3. kupola (szárny).

Típustól függően a teljes repülőtömeg 85-90%-át a pilóta és a beülő tömege teszi ki, ezért a rendszer súlypontja közel helyezkedik el a pilótához. A kupola tömege tipikusan  $3\div 6$  kg, a zsinóroké 2-3 kg. Látható, hogy a kis felületű, nagy tömegű pilótából és a kis tömegű, nagy felületű kupolából álló, kéttömegű rendszer tulajdonságai határozzák meg a siklóernyő mozgásdinamikáját.



1. ábra Siklóernyő fő részei

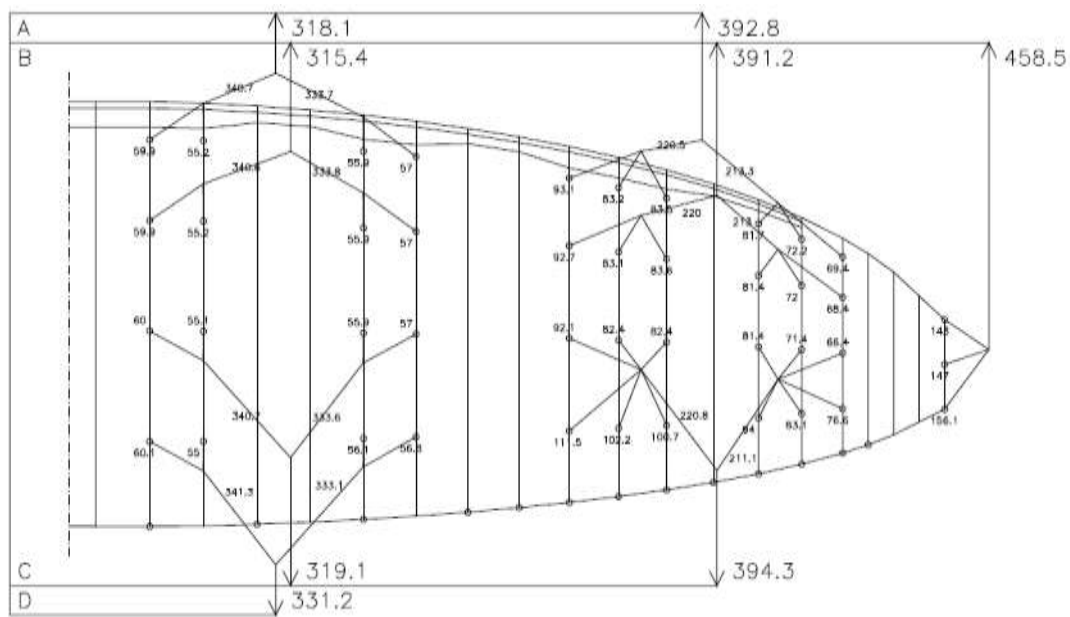
A siklóernyő kupolája hajlékony szárny, az anyag csillapítása szinte minden vizsgálatban elhanyagolható, nyúlása (ahogy a zsinóroké is) viszonylag nagymértékű, időben a mechanikai és egyéb igénybevételek (legfőképpen az UV sugárzás) hatására megnyúlásuk növekszik és maradós alakváltozást is szenvednek (öregedés). A zsinórok egyenlőtlen maradós megnyúlása azt eredményezi, hogy a kupola (szárny) tervezett és bevizsgált, valós geometriai jellemzői maradandóan változnak, a siklóernyők repülési tulajdonságai ettől kezdve nem ismertek. Az éves műszaki ellenőrzésük, biztonsági felülvizsgálatuk ezen egyenlőtlen megnyúlások felkutatására irányulnak amellet, vizsgálva egyúttal a kupolák anyagának légáteresztő képességét is.

A kupola alakját döntően befolyásolja:

- annak profilja, belső szerkezete, terjedtség menti geometriája;
- a zsinórok hossza és a belőlük létrehozott rendszer felépítése;
- a kupolán keletkező légerők nagysága, eloszlása;
- a pilóta fékező és egyéb zsinórok húzásával történő beavatkozása.

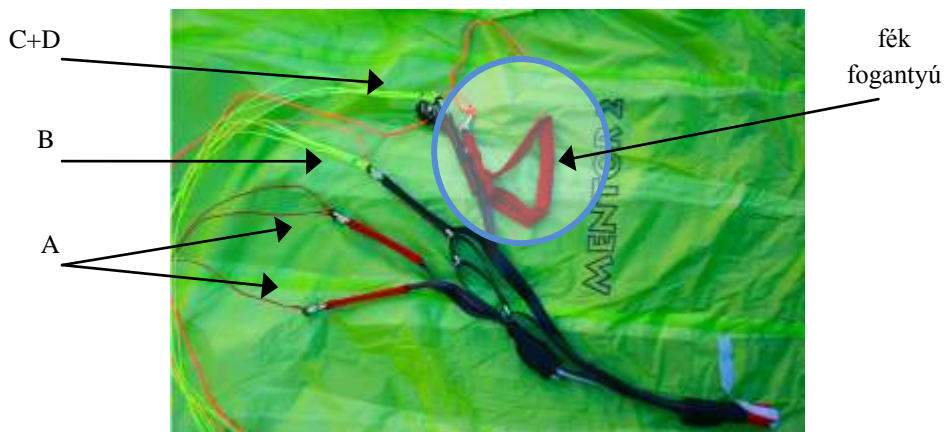
A 2. ábrán látható egy tipikus gyári, kedvtelési célú siklóernyő, tervezett zsinórelrendezése. Az ábrán a kiterített kupola alaprajza, a zsinórbekötési helyek távolságai és az egyes zsinórok

hossza látható, minden geometriai méret mm-ben van megadva.



2. ábra „Nova Rookie S” típusú siklóernyő zsinórterve

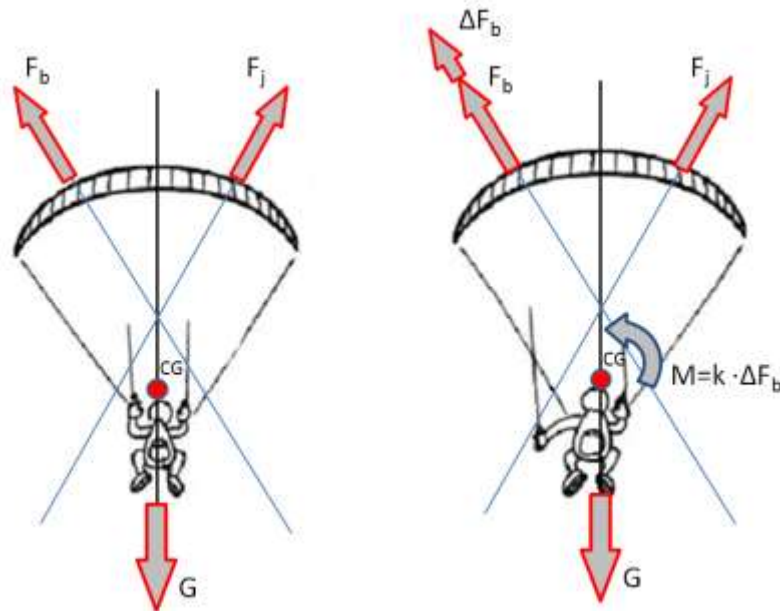
Megfigyelhető, hogy a zsinórokat a húr mentén sorokba rendezték, az egyes zsinórsorokon belül több közösítésen keresztül jutnak le a jobb és a bal főhevederekig, amiket a pilóta beülőjéhez rögzítettek. Ezeket a zsinórsorokat a belépőél felől az ABC betűivel jelölik, tehát az első zsinórsor az A-sor, a második a B-sor, és így tovább. A kilépőélhez kapcsolódó zsinórsor (a 2. ábrán nem látható) a jobb és bal oldali fékzsinórban egyesül, ami a fékfogantyún keresztül kapcsolódik a pilótához. Utóbbi lehúzása segítségével irányítható a siklóernyő (3. ábra).



3. ábra Tipikus siklóernyő heveder (Nova Mentor 2)

A siklóernyők kormányzása két módon lehetséges: súlypont áthelyezéssel (i), ekkor a pilóta a beülőben a kívánt irányú fordulónak megfelelő oldalra kidől, így az egyik félszárnyat jobban terhelve valósítja meg a fordulót, vagy a fékzsinórok húzásával (ii), aszimmetrikusan deformálja a kupolát (annak kilépőélét), amely így a rajta keletkező légerők és az azok által okozott nyomaterkok hatására fordulóba kezd. A kétféle fordulási módszert általában együtt alkalmazzák, tehát a fékzsinór húzásával együtt a megfelelő oldalra ki is dőlnek a pilóták, így vezetnek fordulóba a rendszert. A siklóernyő, egyik oldali fékfogantyújának lehúzására adott válasza első pillantásra eltér attól, amit várnánk. Pl. a bal oldali fékzsinór meghúzásával a bal félszárnyon a

kilépőél lefelé tér ki (típustól függően a felszárny kilépőélének ~70% - 80%-a vesz részt ebben) így a bal felszárnyon megnövekszik a felhajtóerő. Ennek eredményeképpen mégis a bal felszárny süllyed le és bal fordulóba kezd a siklóernyő. A jelenség magyarázatához tekintünk a 4/a ábrán látható egyenes vonalú, egyenletes siklási állapot egyszerűsített erőviszonyát.



4. ábra Siklóernyő kormányzásának erőviszonyai

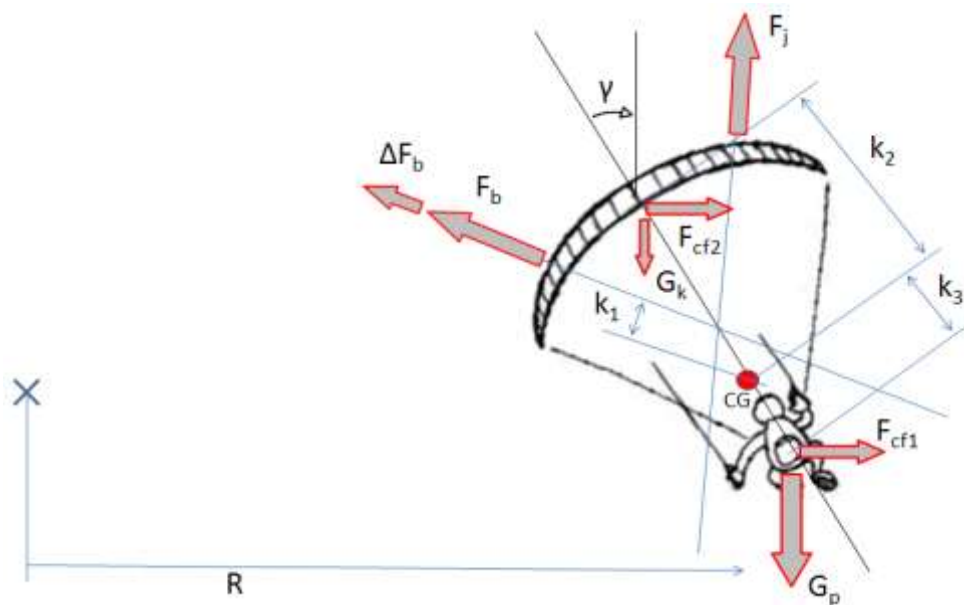
Látható az ábrán, hogy a pilóta súlyerejét a kupola két felén keletkező légerők függőleges irányú komponense ellensúlyozza. (Megjegyzendő, hogy a légerők vízszintes irányú komponense igen fontos szerepet tölt be a kupola alakstabilitásának biztosításában, amely tárgyalása nem témája jelen cikknek.) Ha ekkor a pilóta a bal oldali fékzsinór lehúzásával a bal felszárnyon megnöveli a keletkező légerők nagyságát (4/b ábra), az a súlypont körül balra forgató nyomatékot generál, így a siklóernyő balra bedöntve, bal fordulóba kezd. A fordulóba vitelt elősegíti a bal felszárnyon keletkező többlet ellenállás erő is, amit a 4. ábra nézetén nem lehet ábrázolni. A forduló közben a többi légi járműhöz hasonlóan, romlanak a siklási jellemzők. A fordulóba billentő nyomaték nagysága függ a kupola terjedtség menti íveltségétől, kvázi a  $V$  beállítás szögétől. Kis íveltségű kupola esetén, a felszárnyakon keletkező eredő légerők hatásvonala nem keresztezi egymást a súlypont fölött. Ekkor az erőkülönbségből keletkező nyomaték, ellenkező irányú bedöntést generálna. A siklóernyők kormányozhatóságának mértéke tehát a kupola íveltségétől nagymértékben függ. Az is látható, hogy a siklóernyő külső kormány szerve egyesített csűrő+fékszárny (flaperon) funkciókat lát el [1], azok mozgatásához a pilóta mindkét kezére folyamatosan szükség van.

Az aszimmetrikus szárnytorzítással (egyik oldali fék lehúzásával) fordulóban tartott siklóernyő spirális mozgásba kezd. Ekkor a megnövekvő sebesség és az áramlási viszonyok hatására előfordulhat a kupola felületén kialakuló légerők olyan irányú átrendeződése, hogy az erők stabilan, neutrális helyzetben tartják a rendszert. Ebben az állapotban a siklóernyőt a spirálból nem lehet kivezetni, illetve olyan mértékű erőre lenne szükség a külső oldali fék húzásához, amit a pilóta nem képes kifejteni. Ez a jelenség sok baleset okozója volt a múltban, ezért a gyártók siklóernyőikre megadják a spirálban engedélyezett süllyedési sebesség maximumát,

aminek átlépése veszélyezteti a légi jármű (és pilótája) biztonságát.

A siklóernyőnek, mint minden repülő eszköznek 3 tengely körüli kormányozhatósága vizsgálható, de a repülőgépekénél értelmezett kereszt tengely körüli kormányozhatóság a siklóernyőknél hiányzik, mivel kizárólag a siklóernyő haladási iránya és sebességének nagysága szabályozható. Repülésdinamikai szempontból többek között ezért is egyedülálló repülő szerkezet, hiszen a magasságkontroll hiánya egyetlen más aerodinamikus légi járműre sem jellemző (sőt, a kereszt tengely körüli kormányozhatóság alapvető és kulcsfontosságú). Megjegyzendő, hogy a segédmotorral ellátott siklóernyő hosszdinamikája fontos vizsgálati téma. [3][4]

Siklóernyők kormányozhatóságának vizsgálatához [6] tekintsük az 5. ábrát, amin az R sugarú, állandó  $\gamma$  bedöntésű fordulóban lévő siklóernyőre az egyszerűsített modell alapján ható erők láthatók.



5. ábra Siklóernyő állandó bedöntésű fordulójának erőviszonyai

A modellben a kupolának és a pilótának is van tömege, a repülőgép súlypontjától a kupola súlypontja  $k_2$ , a pilóta súlypontja  $k_3$  távolságra van. A repülőgép súlypontjára számított nyomatéknak zérusnak kell lennie, ez a stabil, állandó bedöntésű és sebességű forduló feltétele. Ez az egyszerűsített modell tehát alapvetően két tömegpont merev, tömeg nélküli rúddal történő összekapcsolásával került felépítésre.

A súlypontra (CG) felírt nyomatéki egyenlet:

$$-M_{\Delta F_b} - M_{F_{cf1}} + M_{F_{cf2}} + M_{G_p} - M_{G_k} = 0 \quad (1)$$

Ebben az egyes tagok kifejezése után:

$$-\Delta F_b \cdot k_1 - \frac{G_p}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot k_3 \cdot \cos(\gamma) + \frac{G_k}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot k_2 \cdot \cos(\gamma) + G_p \cdot \sin(\gamma) \cdot k_3 - G_k \cdot \sin(\gamma) \cdot k_2 = 0 \quad (2)$$

ahol:

- $k_1$  - a felszárnyon keletkező légerő hatásvonalának távolsága a repülőgép súlypontjától;
- $k_2$  - a kupola súlypontjának távolsága a repülőgép súlypontjától;



- $k_3$  - a pilóta súlypontjának távolsága a repülőgép súlypontjától;  
 $G_p$  - a pilóta tömege;  
 $G_k$  - a kupola tömege;  
 $g$  - gravitációs gyorsulás;  
 $v$  - levegőhöz viszonyított repülési sebesség;  
 $R$  - fordulókör sugara;  
 $\gamma$  - bedöntési szög.

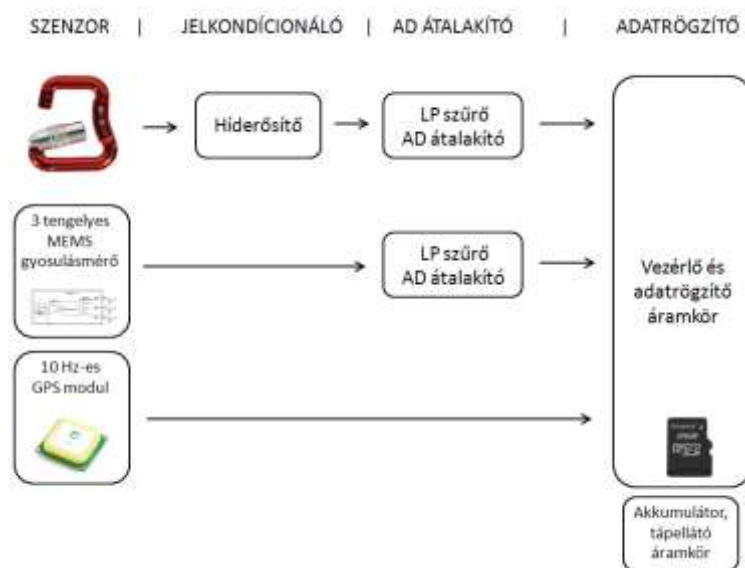
A (2) egyenletből a  $k_1$  értékének meghatározásához ismernünk kell a többi ismeretlen értékét, így számítható a légerők hatásvonalának metszéspontja és a repülőgép súlypontjának távolsága. Ez, az előzőekben részletezettek szerint nagyban befolyásolja a siklóernyő kormányozhatóságát. A mérési feladatra egy egyedi mérőrendszer került megépítésre, tesztelésre és kalibrálásra a Tanszék elektronikai laboratóriumában.

## MÉRŐRENDSZER BEMUTATÁSA

A mérőrendszer feladata, a (2) egyenletben lévő ismeretlen tényezők meghatározása. Ezen értékek:

- $\Delta F_b$  - a siklóernyő két félszárnyán keletkező felhajtóerő különbsége
- $v$  - repülési sebesség
- $R$  - fordulókör sugara
- $\gamma$  - bedöntési szög

A mérőrendszer kialakítása lehetővé teszi ezen értékek mérését, vagy a mérési adatok alapján történő közvetett meghatározását, blokkvázlata a 6. ábrán látható. A felhajtóerő különbség meghatározásához mérni kell a félszárnyakon keletkező erőket. Ebből a szempontból a siklóernyő viszonylag könnyen mérhető, hiszen a jobb és bal oldali félszárnytól lejjövő zsinórzat a pilótánál a jobb és bal oldali hevederekben egyesül, amelyek a pilóta beülőjéhez a mindkét oldalon elhelyezett 1-1 karabinerrel kapcsolódnak (7. ábra). A mérés a hevederekben lévő erők, karabiner segítségével történő mérésén alapul.



6. ábra Mérőrendszer blokkvázlata

Az alkalmazott GIN gyártmányú karabiner jellegzetes siklóernyő tartozék (7. ábra), melynek alsó részét úgy alakították ki, hogy a beülő hevederei minél nagyobb felületen, gyűrődés nélkül feküdjenek fel, a felső részén pedig a siklóernyő hevedere teljes hosszban feküdjön fel.



7. ábra Siklóernyő felépítése



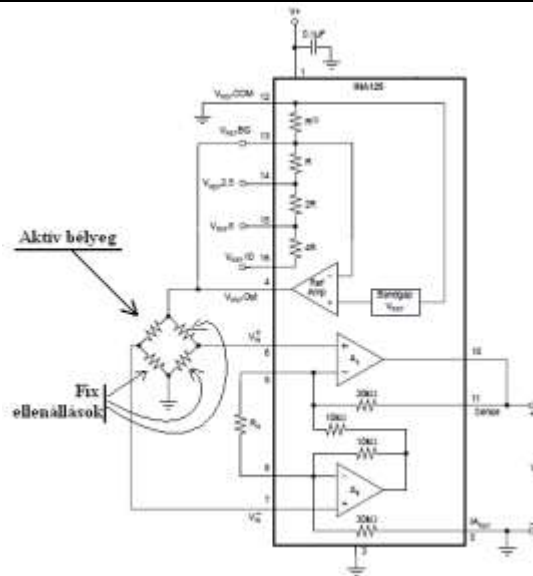
8. ábra GIN gyártmányú siklóernyős karabinerek

A gyári karabinert elő kellett készíteni úgy, hogy alkalmas legyen nyúlásmérő bélyeg felragasztására, ami a 9. ábrán látható módon történ. Az alkalmazott bélyeg KYOWA gyártmányú KFC-2-C1-11 típusú, 120  $\Omega$  névleges ellenállású, 1 db 2 mm hosszú érzékelőhálót tartalmaz és alumíniumhoz hőmérsékletkompenzált.



9. ábra Karabinerre felragasztott nyúlásmérő bélyeg és forrasztási terminál

A bélyeg felragasztásához mechanikai úton el lett távolítva a karabiner színes eloxált bevonata, így a fém tiszta és zsírmentes alapanyagra történt az installálás. Ezután folyékony ragasztóval védőbevonatot kapott a bélyeg a mechanikai terhelések ellen, majd az elvezető huzalokat is rögzítettük, a 9. ábrán látható módon.



10. ábra Nyúlásmérő bélyeg Wheatstone hídjának és híderősítőjének kapcsolási rajza

A bélyeg elektromos bekötése egy 1 aktív bélyeget tartalmazó mérőhídba történt (10. ábra), melynek passzív része precíziós fix értékű ellenállásokból épült fel. A híd által szolgáltatott jel erősítését INA 125 típusú műszererősítő, IC segítségével biztosította. [5] Utóbbi egy  $\pm 0.15\%$  pontosságú feszültségreferencia áramkört tartalmaz, ami a mérőhíd táplálására felhasználható. Az érzékelő mérőhíd és híderősítő áramkörének NYÁK terve és a legyártott áramkör a 11. ábrán látható.

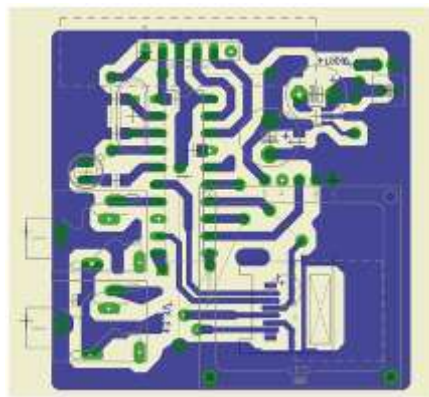


11. ábra A megvalósított erőmérő egység és NYÁK terve

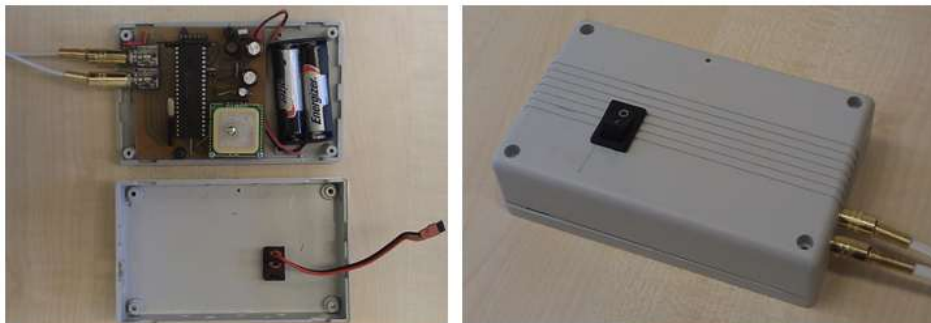
A repülési sebesség és a forduló sugarának meghatározásához egy 10 Hz-es GPS modult építettünk be, amely a pozícióadatokat, sebességet és magasságot szolgáltat digitális, soros vonalon keresztül. Így konverzióra nincs szükség, az adatrögzítő egység direkt módon kapja a rögzítendő adatokat. A GPS modul a LOCOSYS Technology által gyártott LS20030 típus, 10 Hz-es 66 csatornás egység, beépített nagy nyereségű GPS antennával.

A bedöntési szög meghatározása a nehézségi gyorsulás irányának mérésével történt. A gyorsulásmérő az ADXL335 típusú, 3 tengelyes MEMS szenzor, beépített jelkondicionáló áramkörrel. A 3 tengely menti gyorsulással arányos analóg kimeneteit egy-egy alul áteresztő szűrő közbeiktatásával közvetlenül az adatgyűjtő egység A/D átalakítójára lehet vezetni, nincs szükség külön jelkondicionálásra vagy illesztésre.

Az adatgyűjtő és rögzítő egység vezérli és szinkronizálja az adatgyűjtést, melyeket egy mikroSD kártyára rögzít. Utóbbi nem hoz létre fájlrendszert, direkt módon írja az egyes szektorokat. Így a kártyára írás gyorsabban megy végbe, áramkimaradás vagy bármilyen zavar hatására bekövetkező adatvesztés csak az aktuálisan írt szektort érinti, az összes addig rögzített információ sértetlen marad. Ez a limitált mérő- és tesztrepülések számát figyelembe véve igen fontos tulajdonság. Az alkalmazott SD kártya és akkumulátor kapacitás lehetővé teszi, hogy folyamatosan ~14 órát működjön a mérőrendszer, ami a 10 Hz-es adatrögzítési frekvenciát figyelembe véve ~500.000 rögzített mérési pontot jelent. A megépített adatrögzítő rendszer egy dobozba rögzítettük (13. ábra), mely tartalmaz egy nyomógombot, amivel a rögzített adatsorba jelöléseket lehet elhelyezni, így nyomon követhetőek a mérések egyes szakaszai, az utólagos adatfeldolgozás egyszerűsödik. A 12. ábrán látható az adatgyűjtő egység NYÁK terve.

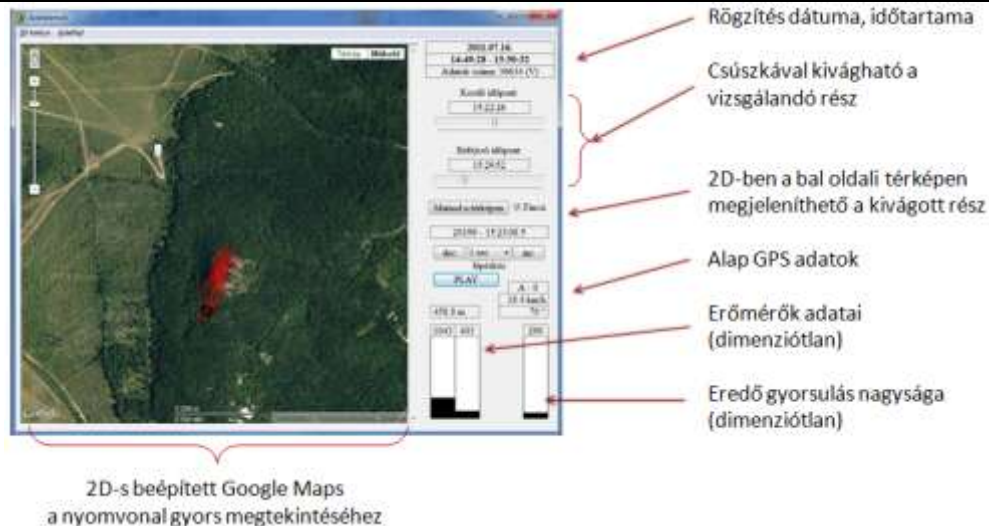


12. ábra Adatgyűjtő egység NYÁK terve

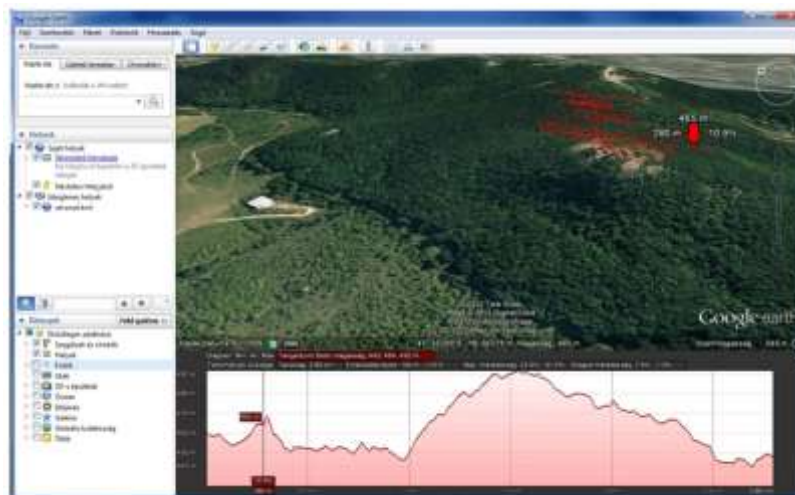


13. ábra A megépített mérőrendszer dobozba építve

Az SD kártyára történő szektoronkénti rögzítés miatt PC-vel közvetlenül nem olvasható ki az elmentett adat (hiszen nincs fájlrendszer). Az adatok egy saját fejlesztésű szoftver (14. ábra) segítségével nyerhetőek ki és exportálhatóak excel táblázatba, ahol a kiértékelés megtörténhet. Lehetőség van az adatok programon belüli előzetes értékelésére és arra is, hogy a rögzített nyomvonalat '.kml' kiterjesztésű fájlba exportáljuk, amit a Google Earth nevű programmal meg lehet nyitni és elemezni 3 dimenzióban (15. ábra).



14. ábra Szoftver az adatok kiolvasásához és exportálásához



15. ábra Tesztrepülésen rögzített nyomvonal exportálva kml fájlba és megnyitva Google Earth programmal

## MÉRŐRENDSZER KALIBRÁLÁSA, TESZTELÉSE, MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Az erőmérő tesztsjelei és kalibrációi során bebizonyosodott, hogy a karabineren mért megnyúlás nem csak a karabinert terhelő erő nagyságától, hanem támadási pontjától is függ. Ezt szemlélteti a 16. ábra, a repülés alatt a siklóernyő hevederjének helyzete és ezzel a karabiner terhelése folyamatosan változik. A változás eltolódás ( $t$ ) és elfordulás ( $\beta$ ) formájában jelentkezik, és nagyban függ a pilóta testhelyzetétől és mozgásától. Ezen hatások miatt a karabineren mért megnyúlás arányos ugyan a terhelőerő nagyságával, de az arányossági tényező a mérés alatt folyamatosan változik. Így abszolút módon nem lehet meghatározni a terhelőerők nagyságát.



16. ábra Karabinerre ható erők változása

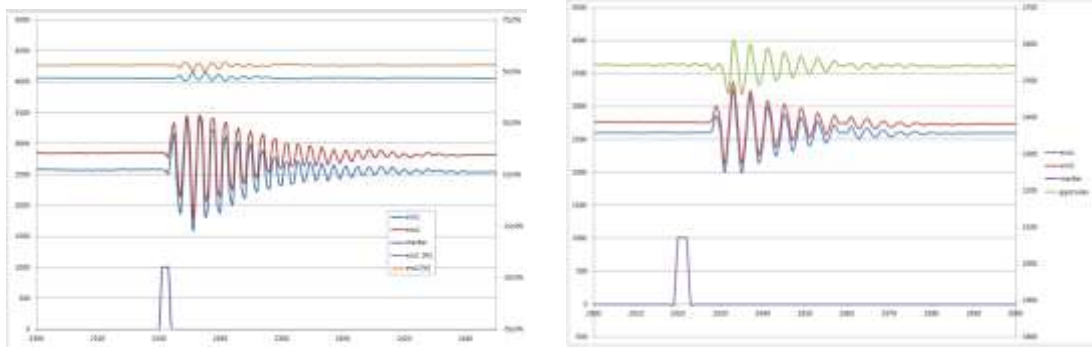
A probléma kiküszöbölhető az utólagos adatfeldolgozás során. A kétoldali karabineren keletkező megnyúlás által adott jel összege mindig a pilóta tömege és az aktuális terhelési többes szerinti nehézségi gyorsulás szorzatával arányos. Így a két oldalon mért értékek összegét mindig a pilóta súlyerejéhez viszonyítva lehet megadni százalékosan, így a két erő különbségének meghatározása elvégezhető.

Az adatrögzítő első tesztjein egy acél zártszelvény tartóra került a beülő felfüggesztésre (17. ábra). A teszt során impulzusszerű terheléssel terheltük a beület, a zártszelvény tartórúd ennek hatására csillapodó lengésbe jött.



17. ábra Mérőrendszer tesztjének sematikus rajza

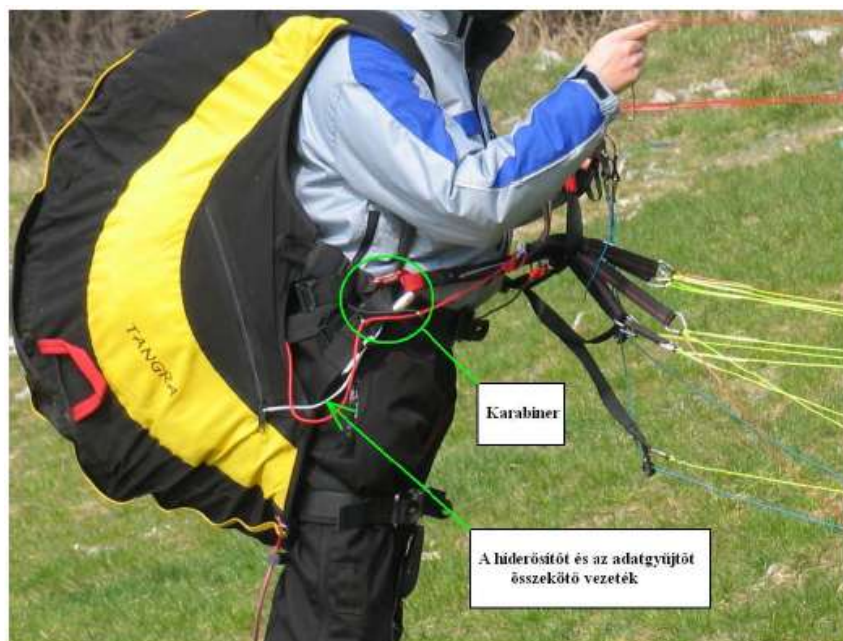
A lengés időbeni lefolyása, lecsengése a 18. ábrán látható, a vízszintes tengelyen az időlépés (1/10 mp), a függőleges tengelyen az AD átalakító nyers adata került ábrázolásra. Az  $ero_1$  és  $ero_2$  %-os mennyiségek a jobb- és baloldali nyers adatok összegéhez viszonyított százalékos érték, aminek szimmetrikus terhelés esetén nem szabad változnia. Látható, hogy az impulzusszerű függőleges, szimmetrikus terhelés hatására a százalékos értékben mindössze 4%-nyi eltérés tapasztalható, míg a nyers adat ~1500-3500 egység közötti értékeket vesz fel, ami a ~2600 egységnyi alapjelhez képest ~75%-os változást jelent. Így az (megnyúlás és a hevederen ható erő közötti) arányossági tényező változása, ami a karabinert támadó erő irány- és erőkar változásából adódik, kellőképpen kiküszöbölhető.



18. ábra Mérőrendszer impulzus terhelésre adott teszteredménye (időtengely 14 mp)

A tesztrepülések elvégzésére a mérőberendezést a siklóernyő beülőjébe rögzítettük (19. ábra). Az alkalmazott siklóernyő Nova Rookie S típusú, a mért starttömeg 91 kg. Az ernyő-pilóta távolsága (5. ábra és (2) egyenlet:  $k_2+k_3$ ): 7,1 méter.

A 20. ábrán látható a felszállási folyamat során rögzített adatsor.



19. ábra Repülés közbeni mérésre előkészített mérőrendszer

A siklóernyő felszállási folyamata során először repülésre kész állapotba kell hozni a kupolát, majd a gyorsítási szakasz után emelkedik el a földtől a pilóta. Ez a folyamat jól nyomon követhető a 20. ábrán.

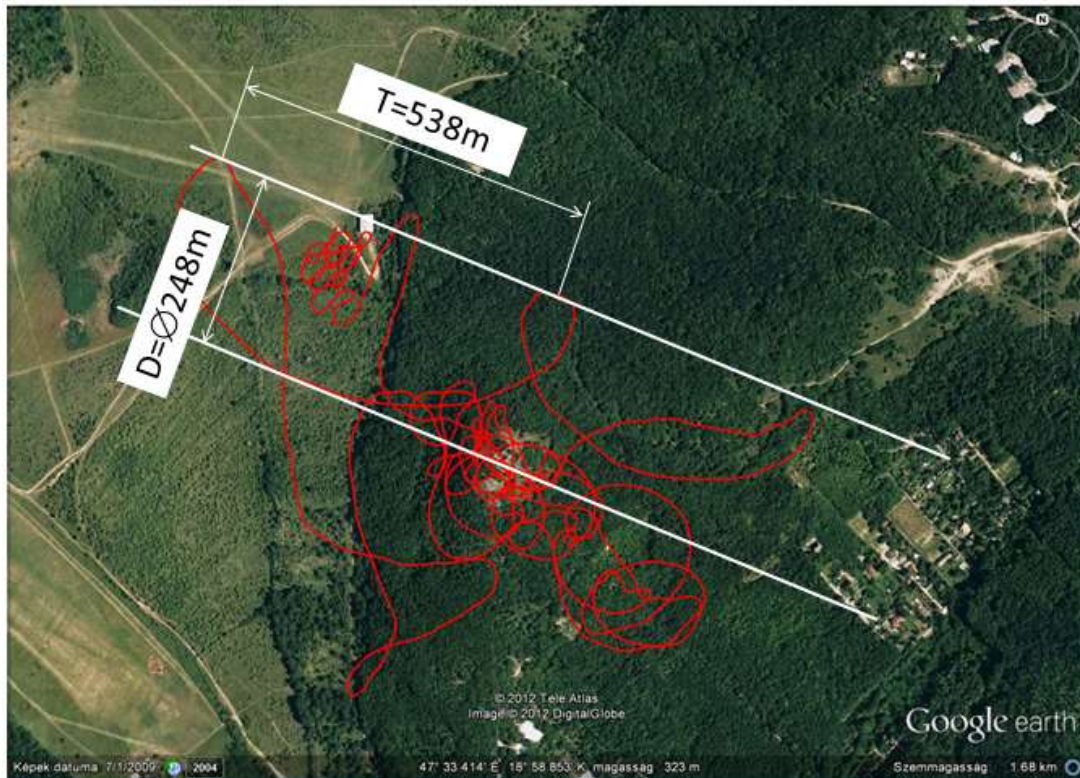


20. ábra Felszállási folyamat regisztrátumának kiértékelése (időtengely 100 mp)

Látható, hogy az ernyő felhúzása, repülésre történő alkalmassá tétele a 2700. időpillanatban történik, ami az adatrögzítés kezdete óta eltelt 270. másodpercet jelent. Ekkor a gyorsulás, az erők, mind heves változásokat mutatnak. A talaj elhagyása, tehát az emelkedés kezdete a 2850. időpillanatban történik meg, látható a föld feletti sebesség növekedése, addig a kupola megtartásához szükséges sebességet a szélesebesség adta. A gyorsítás (hagyományos repülőgépen a nekifutás) tehát nagyjából 2 mp-ig tartott, amit az aktuális szélesebesség, a mért föld feletti sebesség és a siklóernyő minimális sebességének ismeretében lehet meghatározni.

A 21. ábrán egy mérőrepülés alkalmával rögzített nyomvonal látható, ami az elemi körmozgás (állandó bedöntésű forduló) és egy lineáris mozgás (szél) összegeként adódik. A nyomvonal alapján a fordulás sugara 124 méterben lett lemérve (átmérő fele), miközben a szél hatása miatt 538 métert tett meg a siklóernyő. Ha állandó bedöntésű fordulónak tekintjük a fordulást (amire a repülés során törekedtem is), a nyomvonalból meghatározható a szél iránya, sebessége is. Ehhez a rögzített adatsorból szélsőérték kereséssel meghatározandó a teljes forduló közben mért legkisebb és legnagyobb sebesség, amely jelen esetben 11 és 59 km/h-ra adódott. Ezen adatokból a szélesebesség 24 km/h, iránya 277°, ami 4 km/h-val több, mint a felszállás előtt mért átlagos szélesebesség. Az eltérés minden bizonnyal abból adódik, hogy a starthelyen földközeli szélesebességet mértünk, a tesztrepülés pedig átlagosan 300 méterrel a talaj felett zajlott. A forduló közben a siklóernyő trimm-sebességen haladt, amely a mérési adatokból is számítható 35 km/h, és egybevág a gyártó által erre a típusra megadott értékkel.





21. ábra Mérőrepülés nyomvonalából a fordulási sugár meghatározása

A teljes fordulat ideje 97 mp volt, közben 970 adatsor került rögzítésre, az átlagolt erőkülönbség 38 N volt. A forduló során a rögzített 3 tengely menti gyorsulások átlagából a bedöntési szög  $9^\circ$ -ra adódott. A mért erőkülönbség hatására tehát a siklóernyő 124 méteres sugáron,  $9^\circ$ -os bedöntéssel és 35 km/h-s sebességgel hajtotta végre a fordulót.

Ezekkel az adatokkal a (2) egyenletből a kormányozhatóságot befolyásoló  $k_1$  erőkar hossza

$$k_1 = 2.1 \text{ méter}$$

adódott, az alábbi konstansok használata mellett:

- $k_2 = 5,8 \text{ m}$ ;
- $k_3 = 1,3 \text{ m}$ ;
- $m_{\text{pilota}} = 86,5 \text{ kg}$ ;
- $m_{\text{kupola}} = 4,5 \text{ kg}$ .

Így a siklóernyőt fordulóban tartó nyomaték nagysága:

$$M = \Delta F_b \cdot k_1 = 79.8 \text{ Nm}$$

Az itt meghatározott erőkarok és nyomatékok alkalmasak a siklóernyők kormányozhatóság és hossz tengely körüli stabilitás szerinti összehasonlítására. A jelen cikkben ismertetett konkrét értékek más típusú siklóernyőkkel végzett és/vagy különböző starttömegű repülések mérési eredményével történő összehasonlítása a további vizsgálatok tárgya lesz. Az eredmények további validálása több mérőrepülést igényel, a légköri és egyéb zavarok pontosabb szűrése érdekében.

A cikkben siklóernyők repülésdinamikai vizsgálatához alkalmas mérőrendszer került bemutatásra. A mérőrendszer és egy egyszerűsített hossz tengely körüli repülésdinamikai modell segítségével meghatároztuk az adott típusú siklóernyőt, meghatározott sugarú és bedöntésű fordulóban tartó nyomaték nagysága. A mérőrendszer kialakítását és kalibrálását / tesztelését is ismertettem a cikkben, a mérési eredmények és tesztrepülések adatai mellett.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogatja.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. ÓVÁRI Gyula: Korszerű repülőgépek kormányvezérlése (kézirat), 2008
- [2] Magyar Szabad Repülők Szövetsége honlap és statisztikai adatai: [www.hffa.hu](http://www.hffa.hu)
- [3] John R. CHAMBERS: Longitudinal dynamic modeling and control of powered parachute aircraft, 2007
- [4] ZAITSEV, P. V., FORMAL'SKIJ, A. M.: Paraglider: Mathematical model and control. Doklady Mathematics, 77(3):1–4, 2008.
- [5] Texas Instruments INA125P IC adatlap: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>
- [6] Olivier CALDARA: Vol Libre Magazin 307, 2002 február



Dr. Óvári Gyula<sup>1</sup> - Dr. Urbán István<sup>2</sup>

## MEREVSZÁRNYÚ REPÜLŐGÉPEK VEZÉRSÍK-RENDSZEREINEK KIALAKÍTÁSA<sup>3</sup>

*A cikk(sorozatban)ben a merev szárnyú repülőgépek vezérsík rendszerinek tervezését és építését követheti nyomon lépésről lépésre az olvasó. A repülés története folyamán terveztek olyan farokfelületeket, melyek aerodinamikai szempontból messze megelőzték korukat, ugyanakkor strukturális szilárdságtani és elasztikus problémáik miatt nem voltak gyakorlatban megvalósíthatóak. Szándékaink szerint az összes napjainkban alkalmazott főbb elrendezési formákat tárgyaljuk majd, azzal a céllal, hogy a stabilitási alapoktól kiindulva meghatározhatóak legyenek a méretezési alapelvek, valamint a függőleges/vízszintes vezérsík elrendezési formák előnyei és hátrányai.*

### **DEVELOPING OF FIXED WING'S AEROPLANES TAIL SYSTEMS**

*In this (serial)article You can follow step by step the planning and producing process of a fixed wing's aircraft tail systems. During time in the history of the aviation were planned such tail systems which were a big fore step according to the aerodynamic, but besides that they were not able to produced due to structural instability and elastic problems. By our intention we will describe all the main shape and form of the tail systems. Our goal is to determine the main principes of engineering from the bases of the stability, and the pros and cons of the tail systems as well.*

## REPÜLŐKÉPESSÉG

### 1. A szárny instabilitása

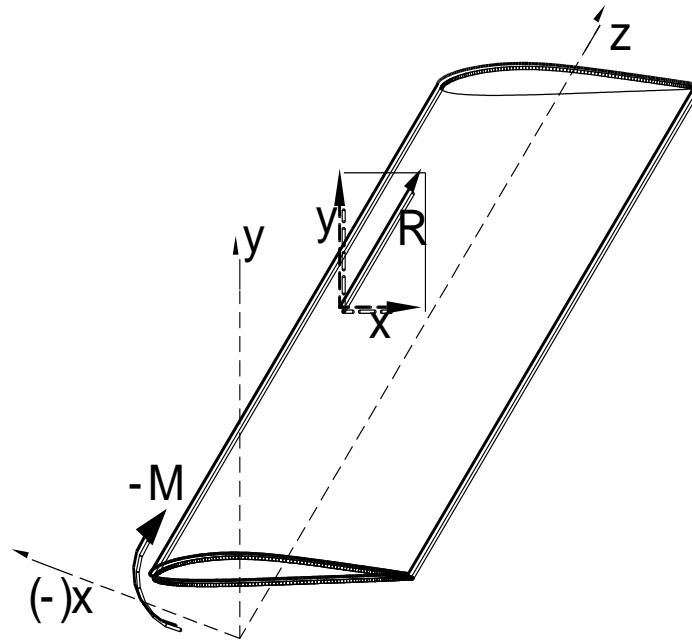
A gyakorlati aerodinamikából ismert az a jelenség, hogy a hagyományos (nem csupaszárny repülőgépek szárnyprofiljairól van szó) szárnyszelvényvel ellátott izolált, egyenes szárnyon keletkező eredő légerő a szárny állásszög növekedésekor növekszik, ugyanakkor támadáspontja, a „nyomásközéppont” a szárny belépő éle felé, előre vándorol. Az állásszög csökkenésekor ez a légerő csökken, támadáspontja pedig a kilépő él irányába mozdul el.

A nyomásközéppont húrirányú elmozdulása eredményeképpen, a szárny súlyvonala a z tengely (a mozgást úgynevezett testhez kötött koordináta rendszerben vizsgáljuk) körüli nyomatékokat kell értelmeznünk. Az 1. ábrán látható, hogy ha a tengely pillanatnyi légerő hatásvonala mögé esik, akkor a légerő „feroknehéz” nyomatékokot ad. A nyomásközéppont előre vándorol, nagyobb állásszög növekedésekor ez a nyomaték igyekezik a szárnyat kiforgatni pillanatnyi egyensúlyi helyzetéből mivel a folyamatot megindító nyomaték is nő, így a magában repülő, hagyományos szelvényű szárny helyzete a kiindulási állapottól rohamosan eltér.

<sup>1</sup> ny. mk. ezds., egyetemei tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

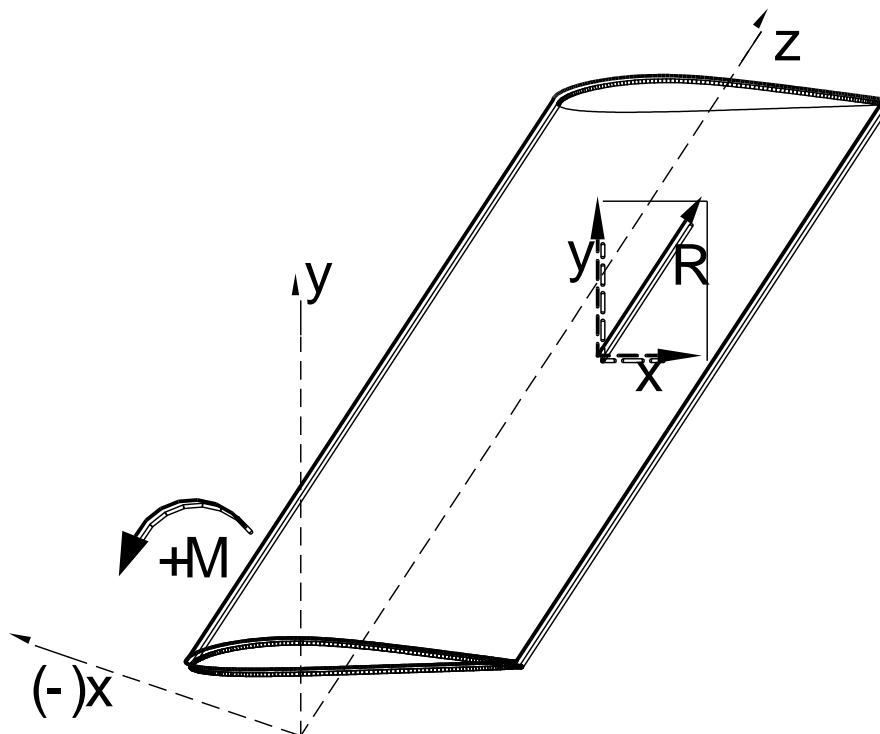
<sup>2</sup> ny. örgy., főiskola docens, Kecskeméti Főiskola Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, urban.istvan@gamf.kefo.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu



1. ábra nyomásközéppont vándorlás a belépő él felé (készítették: a szerzők)

Hasonló folyamat játszódik le akkor, ha a súlyvonal a légerő hatásvonalá előtt van. Ebben az esetben a légerő „ornnehéz” bólintó nyomatékot hoz létre a z tengely körül, ez az állásszög csökkenését vonja maga után. A csökkenő állásszög miatt a nyomásközéppont hátra vándorol, amely a megindult állásszög csökkenéssel járó folyamatot gyorsítja. A magában repülő egyenes szárny helyzete tehát ebben az esetben is a kiindulási ponttól rohamosan eltér. (2. ábra)



2. ábra nyomásközéppont vándorlás a kilépő él felé (készítették: a szerzők)

Ha a pillanatnyi légerő hatásvonalá a súlyvonalat (súlypontok dinamikus helyzetét) metszi, akkor a tehetetlenségi főtengetyre vett nyomatékok pillanatnyi eredője zérus, a szárny egyen-

súlyi helyzetben van. Ennek azonban csak teoretikus jelentősége van, mivel a legkisebb zavarás hatására valamelyik már említett helyzetébe megy át az izolált szárny.

A nyomatékközéppont vándorlással rendelkező, hagyományos profillal ellátott egyenes szárny ezért nem képes stabil repülésre [1]

Tehát a stabil repülés feltétele, hogy az állásszög és az eredő nyomaték változása (mely a „z”, vagyis a kereszt tengely körül forog) ellentétes legyen. A repülőgép stabil, ha növekvő felhajtóerő tényezőhöz „ornehéz” bólintó nyomatékváltozás, csökkentő felhajtóerő tényezőhöz „faroknehéz” bólintó nyomatékváltozás tartozik. Az utóbbi megállapítás azért szükséges, mert a gyakorlati aerodinamikai mérések során a felhajtóerő tényező könnyebben határozható meg, mint az állásszög.

A bólintó nyomatékot  $M_z$ -vel jelöljük, ez a tehetetlenségi fő tengellyel egybeeső z tengely körüli forgatónyomatékra utal. A stabilitás (a repülőképesség) vizsgálatánál a légerők és nyomatékok helyett azok dimenzió nélküli tényezőivel célszerűbb számolni.

$$c_y = \frac{Y}{q \cdot A} \quad (1)$$

$$c_x = \frac{X}{q \cdot A} \quad (2)$$

$$c_{mac} = \frac{M_{Ac}}{q \cdot A \cdot h} \quad (3)$$

$$m_z = \frac{M_z}{q \cdot A \cdot h_a} \quad (4)$$

Ahol:

- $c_y$  felhajtóerő tényező,
- $Y$  felhajtóerő,
- $q$  az áramló közeg dinamikus, vagy torló nyomása,
- $A$  vetületi szárnyfelület,
- $c_x$  légellenállás tényező,
- $c_{mac}$  nyomatéki tényező, melyet a szárnyprofil aerodinamikai centrumára állapítunk meg,
- $M_{AC}$  aerodinamikai centrumra számított forgató nyomaték,
- $h$  a szárnyprofil húrhossza,
- $m_z$  a z tengely körüli forgató nyomaték nyomatéki tényezője,
- $M_z$  a z tengelyre számított forgató nyomaték,
- $h_a$  a szárny közepes aerodinamikailag húrhossza, amely bármely felülnézeti alakkal rendelkező szárny esetében:

$$h_a = \frac{S}{A} \int_0^{s/2} h^2 dz \quad (5)$$

míg trapéz alakú szárnynál:

$$h_a = \frac{S}{A} \frac{h_t^2 + h_v \cdot h_t + h_v^2}{3} \quad (6)$$

összefüggés alapján számítható. Az 5. és 6. egyenletben  $S$  a szárny fesztávot,  $h_t$  a szárny töben mért, míg  $h_v$  pedig a szárnyvégen mért húr hosszát jelöli.

A hosszstabilitás alapproblémája matematikai úton:  $\frac{\delta m_z}{\delta c_y}$  hányados, tehát az  $m_z$  nyomatéki

tényező  $c_y$  szerinti megváltozása pozitív, azaz ha  $c_y$  növekedése  $m_z$  növekedését,  $c_y$  csökkenése  $m_z$  csökkenését vonja maga után akkor a repülőgép instabil. Ez kielégíti a fent leírt feltételt, mivel az állásszög növekedése az  $M_z$  bólintónyomaték növekedését, csökkenését, csökkenése a bólintónyomaték csökkenését eredményezi. [3]

## 2. Hosszstabilitás számítása és tipikusan vizsgált esetei

Így a statikus hosszstabilitás feltétele:  $\frac{\delta m_z}{\delta c_y} < 0$

A statikus instabilitás feltétele:  $\frac{\delta m_z}{\delta c_y} > 0$

A stabilitási indifferencia feltétele:  $\frac{\delta m_z}{\delta c_y} = 0$

Annál nagyobb a repülőgép stabilitása, minél nagyobb abszolút értékű negatív számmal jellemezhető a fenti hányados (alap kiképző repülőgépeknél ennek szokásos értéke 0,4-0,6, pl. ennyi az R-26 Góbé típusú vitorlázó repülőgépnél is), ezért ez a stabilitást kifejező viszonyszám is. Deduktív alkalmazásával megállapítható, hogy ez egyben az  $m_z = f(c_y)$  függvény görbe meredeksége is, így ez a függvény jól szemlélteti a statikus hosszstabilitási viszonyokat az adott repülőgép esetében.

A függvény értelmezési tartományában feltétel, hogy a metszésponttól balra pozitív, jobbra negatív metszései legyenek, ugyanis ez jellemzi a stabil állapotot. A görbe rendelkezhet pozitív meredekségű, instabil szakaszokkal is, mivel ez nem befolyásolja döntően a stabilitási követelményeket. De elengedhetetlenül fontos, hogy a metszéspont közelében negatív iránytangensű legyen, valamint hogy egyetlenegy metszéspont legyen. [4]

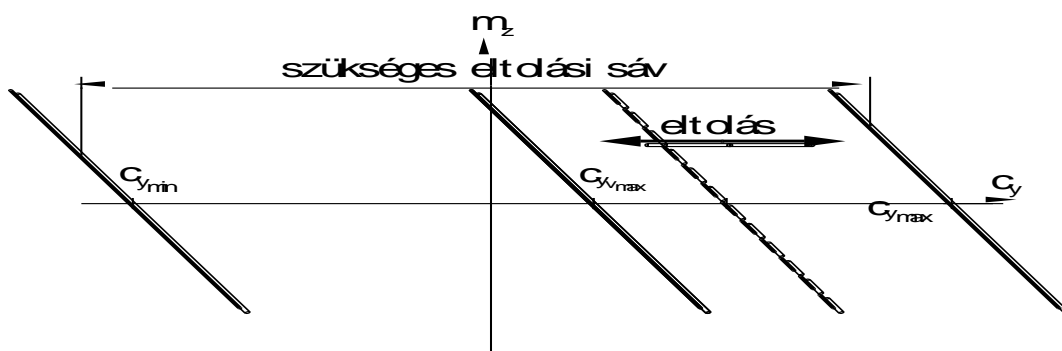
Az első feltétel biztosítja, hogy a repülőgép az előállítható és a megengedett sebességhatárok között egyenes vonalú pályán, egyenletes sebességgel repülhessen. A repülőképeség második feltétele, hogy az  $m_z = f(c_y)$  görbe a felhajtóerő tényező tengelyt a szárny profilja által előállítható felhajtóerő tényezők tartományában metsze. Ez a gyakorlati aerodinamikában azt jelenti, hogy  $c_{ymin}$ ,  $c_{y,vmax}$ ,  $c_{ymax}$  értékek közé kell esnie a függvény zérus helyének. Ennek az eddigi két feltételnek a kielégítése biztosítja azt, hogy az egyenes vonalú pályán, egyenletes sebességgel repülő légijármű egyensúlyából kibillentve – az ébredő stabilizáló nyomaték hatására – a zavarás előtti állapotába újból rövid időn belül visszatér. E két feltételt kielégíti az alábbi képen ábrázolt, a jól beállított, a FAI által a legnépszerűbbnek tartott, F1A kategóriájú, szabadon repülő repülőmodell (1. kép) is, amely képes stabilan repülni. [2]



1. kép FAI F1A kategóriájú, szabadon repülő repülőmodell  
(forrás: [http://w-hobby.com/?p=Electronic Superba Model](http://w-hobby.com/?p=Electronic+Superba+Model))

### 3. Vízszintes irányfelület, a magassági kormány szükségessége

A repülőgépekkel szemben támasztott fontos követelmény, hogy a stabilan, egyenes vonalban repülő gép sebességét az úgynevezett átesési és soha nem túlléphető sebességek által határolt tartományok között szabadon változtathassuk, és a kívánt értékre bármikor beállíthassuk. Ez tulajdonképpen matematikailag azt jelenti, hogy az  $m_z = f(c_y)$  görbe önmagával párhuzamosan eltolható legyen. (3. ábra)



3. ábra repülőképeségi feltételek (készítették: a szerzők)

Az eltolás folytán a  $c_y$  teljes előállítható tartományban, de legalább a gyakorlatilag használt  $c_{y_{\max}}$  és  $c_{y_{v\max}}$  közé eső intervallumban a repülőképeség második feltételének kielégítése mellett az első feltétel is bárhol megbízhatóan realizálható legyen.

Ezt az eltolást, más néven a harmadik repülőképeségi feltételt a gyakorlatban a repülőgép magassági kormányával valósítható meg. Utóbbi ezért úgy kell méretezni, hogy segítségével a repülőképeség harmadik feltétele kielégíthető legyen. Pontosítva, általában a magassági kor-

mány felületét - alapvetően repülőgép prototípusok tervezésénél - egy biztonsági tényező meghatározott értékének figyelembe vételével nagyobbra szükséges kialakítani a lentebb ismertett empirikus értékeknél. A gyakorlati aerodinamikában és a kormány mozdításának gyakorlati kivitelezésekor ezt rendszerint az úgynevezett „kettős aránnyal” (azaz, a mozgó szervomotor tengelyének szögelfordulását csökkentve), ezáltal a magassági kormány kitérését - akár mindkét irányban - határolva. Ezzel biztosítják a legkedvezőbb (függvény) eltolási mértéket.[5]

Az irányfelületeknél általánosan megállapítható követelmény az is, hogy geometriai méreteik és elhelyezésük a teljes repülési sebesség és magasság tartományban biztosítsa az adott repülőgépre előírt hossz-és iránystabilitási jellemzőket, melyeknek számszerű értékeiket általában szabványban rögzítik.

A vízszintes irányfelület helyét és méretét a szükséges statikus hosszstabilitás mértékéből számítjuk. A hosszstabilitás arányos a vízszintes irányfelület statikai nyomatékával ( $A_{vi} \cdot x_{vi}$ ).

$$\frac{A_{vi} \cdot x_{vi}}{A \cdot h_A} = 0,3 - 0,8 \quad (7)$$

$$\frac{A_{vi}}{A} = 0,15 - 0,35 \quad (8)$$

Ahol:

- $x_{vi}$  a repülőgép súlypontja és az irányfelület nyomásközépponti vonala közötti távolság;
- $A_{vi}$  a vízszintes irányfelület felülnézeti alapterülete;
- $A$  a repülőgépszárny felülnézeti alapterülete;
- $h_A$  a szárny közepes aerodinamikai húr hossza;
- $A_{vi}/A$  reláció nagyobb értéke, a nagyobb felületi terhelés esetén adódik.

#### 4. A függőleges farokfelület

A repülőgép függőleges farokfelületén a sárkány valamennyi eleme közül a legnagyobb stabilizáló (un. legyező) nyomaték keletkezik, mely az áramlás irányával szembe fordítja a repülőgépet, a csúszási szöget csökkenteni igyekszik. Statikai nyomatékokat meghatározó tényezők:

- a repülőgép kereszt- és iránystabilitása közötti kapcsolat;
- többhajtóműves repülőgépeknél, felszálláskor egy külső hajtómű leállása esetén, illetve repülés közben egyik oldali hajtómű(vek) működésképtelenné válásakor a vízszintes repülés képessége;
- 15 m/s (más előírások, például volt szovjet/ orosz szerint 12 m/s) erősségű, 90, vagy 270 fokos azimtú oldalszél esetén is a repülőgép biztonságos leszállása.

A tapasztalati adatok alapján:

$$\frac{A_{fi} \cdot x_{fi}}{A \cdot S} = 0,05 - 0,1 \quad (9)$$

$$\frac{A_{fi}}{A} = 0,1 - 0,25 \quad (10)$$



A nagyobb érték a szárnyon elhelyezett többhajtóműves, és hosszú orr- résszel ellátott repülőgépekre jellemző.

Ahol:

$x_{fi}$  - a repülőgép súlypontja és az irányfelület nyomásközépponti vonala közötti távolság;

$A_{fi}$  - a függőleges irányfelület területe;

$A$  - a szárny felülnézeti alapterülete;

$S$  - a szárny fesztávolsága.

A főbb geometriai adatok (amelyek adott esetben szélső értékeiben igen tág, akár 100%-os eltérést is jelenthetnek (9)), valamint a kívánt nyomatékok kiszámítása után kiválasztható a kívánt vezérsík elrendezést.

Cikkünk következő részeiben a különböző farokfelület elrendezési módok előnyeit-hátrányait, valamint kialakításának repülésmechanikai és szerkezettani problémáit szándékozunk publikálni.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Rác Elemér: Repülőgépek a BKGME Egyetemi jegyzete azonosító: 740676
- [2] <http://www.modellsport.hu/szabalyzatok/szabardonrepulo.pdf> 2011.05.05.
- [3] Dr. Kesselyák Mihály: Repülés mechanikája a NYMGF főiskolai jegyzete s.sz.: 230/1983
- [4] <http://adg.stanford.edu/aa241/stability/staticstability.html> 2011. 05. 10
- [5] <http://aircraftcomponent.net/the-primary-requirement-for-longitudinal-static-stability-trimmed-flight-conditions.html> 2011. 05.10

Tóth József<sup>1</sup>

## A MAGYAR HONVÉDSÉG HUMÁNSTRATÉGIÁJÁNAK HATÁSAI A REPÜLŐ MŰSZAKI SZAKEMBER KÉPZÉS RENDSZERÉRE<sup>2</sup>

*A katonai légi járművek műszaki üzemeltetésének minőségét jelentős mértékben befolyásolja az abban tevékenykedő szakemberek szakmai felkészültsége. A párhuzamosan létező üzemeltetési stratégiák megléte, a közelmúltban megjelent humán stratégia olyan hatások, melyek változtatásokat igényelnek a repülő műszaki szakemberek képzési folyamatiban is. Ebben a folyamatban központi szerepet játszanak a kompetenciák, és az azzal kapcsolatos elvi kérdések. Jelen cikkben ezeket a kérdéseket kívánom röviden elemezni, egységes gondolati környezetben vizsgálni.*

### **EFFECTS OF HUNGARIAN DEFENCE FORCES' HUMAN STRATEGY ON THE SYSTEM OF AVIATION TECHNICAL STAFF'S TRAINING**

*Quality of military aviation maintenance largely depends on the expertise and professionalism of involved aviation technical staff. The different maintenance strategies used parallel to each other and effects of recently appeared human strategies claim certain changes in the process of aviation technical staff's training. The competences and the related theoretical questions have huge importance in this process. In this paper I shortly analyse these questions taking it in an interrelated theoretical context.*

## BEVEZETÉS

A Magyar Honvédség légierijében lezajlott technikai jelegű változásokat a közelmúltban a humán erőforrásokat érintő gyökeres változások követték. A korszerű vadászpilótáknak megjelenését követően napvilágot látott a Magyar Honvédség humánstratégiája, mely a személyi állomány egészét érintve új kihívásokat jelent a repülőeszközök üzemeltetését végző szakemberek képzésében, ki- és átképzésében. Ezek a kihívások közvetlenül érintik az üzemeltetést végző szervezeteket, a szervezetekben dolgozókat, valamint a képzést végző intézményeket is. A humán stratégia által megjelölt célok, és feladatok a haderő egészének humán menedzsment oldalát alapjaiban érintik, új szemléletet, kultúrát kialakítva.

Jelen cikkben arra vállalkoztam, hogy az új stratégia céljait figyelembe véve (egyelőre csupán) elvi környezetet, és koncepciót kívánok felvázolni, mely a repülő műszaki szakemberek képzésének átalakításában jelentkező feladatok megoldásához kíván szemléleti háttérrel nyújtani.

---

1 okl.mk.alez, főiskolai docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, toth.jozsef@uni-nke.hu

2 Lektorálta: Dr. Kavás László okl. mk. alez, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu

Az elemzést célszerű rendszerszemléletű megközelítésben végezni. Ennek gondolati tartalma az, hogy a légi járművek üzemeltetését egy a környezettől jól elkülöníthető rendszerként vizsgáljuk, amely magában foglalja:

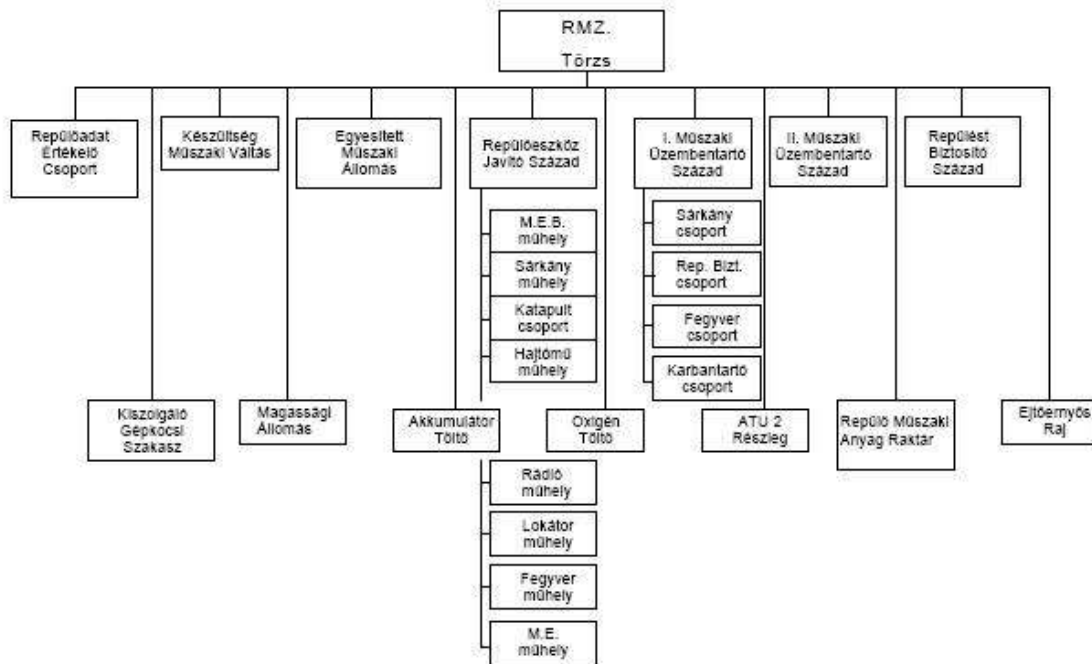
- az üzemeltetett technikai eszközt,
- azok kiszolgálását, ellenőrzését, karbantartását, javítását szolgáló berendezéseket,
- az üzemeltetést végző (műszaki) állományt,
- a kezelőszemélyzetet,
- valamint az üzemeltetést irányító szervezetet.

Az üzemeltetési rendszer egy nagyvonalú felbontásban a következő elemeket tartalmazza:

- objektív elemek (A légi járműre üzemeltetése során sokféle, bonyolult véletlenszerű üzemeltetési körülmény gyakorol hatást, melyek következtében a technikai eszköz állapota állandóan és halmozottan változik),
- szubjektív elemek (Egy adott üzemeltetési rendszerben előírásokkal előre szabályozott emberi beavatkozások összessége.)

Az üzemeltetési rendszer folyamatait alapvetően az üzemeltetés tárgyát képező konkrét repülő eszköz előírásai határozzák meg, emellett jelentős befolyással bír a személyi állomány felkészültsége, az üzemeltető szervezet struktúrája, valamint gazdaságossági, és/vagy megbízhatósági követelmények.

A rendszer folyamatainak kialakítását meghatározza a választott, vagy előírt üzemeltetési stratégia. Jelenleg a légierőnél párhuzamosan két üzemeltetési stratégia létezik. Az egyik az ún. „hard time” típusú stratégia, mely alapján a jelenleg még rendszerben lévő szállító és harci helikopterek üzemeltetése történik. A JAS 39 típusú vadászrepülőgépek üzemeltetése az állapot szerinti stratégiát megközelítő rendszerben zajlik. Ez a két stratégia egyrészt eltérő szervezeti struktúrát (munkamegosztást, létszámot) igényel, másrészt az eltérő feladatokból adódóan a résztvevő állomány különböző képzettségét, képességeit és jártasságokat igényel. A kemény idő szerinti stratégiára alapvetően a szakmák szerinti feladatmegosztás a jellemző, ami a gépész, villamos, valamint a fegyveres képzettséget jelenti. A korszerű repülőgépek üzemeltetési rendszerében ez a fajta a szakmacsoportok alapján történő bontás megszűnik, helyére a feladatszoportok szerinti elkülönítés a jellemző. Példaként álljon itt a kemény idős üzemeltetést végző szervezetet bemutató szervezeti ábra.



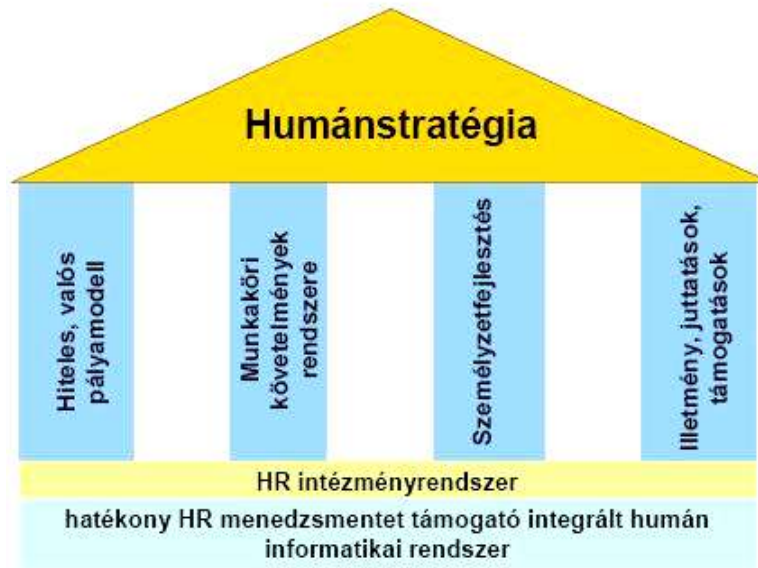
1. ábra A repülő műszaki zászlóalj (RMZ) szervezeti felépítése [1]

A Jas 39 típusú repülőgépek üzemeltetési rendszere ettől lényegesen eltérő szervezeti struktúrát, és létszámot igényel, amely alapjaiban a svédországi modell adaptációját jelenti. További lényegi különbséget jelent a műszaki feladatvégzés megbízhatóságával összefüggő humán tényezők szemléletmódja, mely egyrészt a felelősséget puhábban kezeli, másrészt a prevenció vonatkozásában nagy hangsúlyt fektet a képzésre, oktatásra. Ebben a szemléletben tetten érhetők a modern menedzsment irányzatok gondolatvilága, a kemény, vonalas katonai szemléletmód helyett.

## A MH HUMÁNSTRATÉGIÁJA, ÉS ENNEK VÁRHATÓ HATÁSAI

A 79/2011 (VII. 29.) HM utasítás rendelkezik a „A Magyar Honvédség humánstratégiája a 2012-2021. közötti időszakra” című dokumentum kiadásáról, mely a honvédség humán erőforrás gazdálkodásával összefüggő stratégiai elképzeléseket tartalmazza, és mint ilyen meghatározó jelentőséggel bír az elkövetkező mintegy 8-10 évre (ez jelenti a stratégiai időtávlatot) vonatkozóan.

A dokumentum funkcionális ágazati stratégiaként definiálja önmagát, amely a humán erőforrás gazdálkodással kapcsolatos alapelveket, célokat, a célok eléréséhez szükséges cselekvéseket (akciókat) tartalmazza. A stratégia építőköveit, pilléreit az alábbi, a dokumentumból átvett ábra szemlélteti.



2. ábra. A humán stratégia elemei [2]

Az ábra jól szemlélteti azokat a kiemelkedő funkcionális elemeket, melyek a stratégia súlypontját képezik. A Human Resource Management, mint egyre inkább önálló tudomány szakirodalmában is alapvetően ezeket az elemeket különbözteti el.

Témánk szempontjából fontos elem a különböző pályamodellek definiálása. Ennek megfelelően a „klasszikus katonai” [2] pályamodell azt az életpálya szivárványt írja le, amely a klasszikusnak mondható parancsnoki tevékenységgel, illetve törzstiszti feladatokkal hozható kapcsolatba. A „speciális szakmai” [2] pályamodell olyan munkakörökhöz kapcsolódik, ahol a feladatok valamilyen speciális szakmai ismereteket követelnek a munkakör betöltőjétől. A két pályamodell dominánsan egy irányban átjárható (katonaiából speciálisba), a fordított irányú mozgásra csak kivételes esetben enged lehetőséget. A koncepció előnye, hogy biztosítja a szervezetbe belépőnek a tiszta, világosan átlátható karrierképet, a pályaháló döntési pontjainak deklarálásával azt a jövőképet, ahol felmérhetők a követelmények, a mozgástér.

A vizsgált téma szempontjából, és az előzőekkel is szoros összefüggésben áll a személyzetfejlesztéssel kapcsolatos elképzelés. Ennek megfelelően a dokumentum rögzíti, hogy a katonai pályamodellben mozgó munkavállalók alap, és továbbképzését a katonai oktatási intézményekben (kiemelten a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen) kívánja megoldani. A speciális pályamodellhez tartozó kompetenciák megszerzése a tárca hatókörén kívüli különböző szintű oktatási intézmények biztosítják.

Ezen a helyen gondolom célszerűnek néhány szóban tisztázni a kompetenciákkal kapcsolatos néhány kérdést.

Az első probléma a kompetencia definiálása, ugyanis az irodalomban használt definíciók erősen igazodnak az elemzett problémához, más és más kompetencia elemre helyezve a hangsúlyt.

A másik nehézség a definíció egzakt voltának biztosítása. A kompetenciák tartalmilag egzakt definiálása mindenekelőtt azért nehéz, mivel a vizsgált rendszerek (bármely szintet vizsgálva) csak bizonyos absztrakciós szinten fogható fel statikus rendszerként: valójában inkább változási folyamatok összességéként írható le. A szüntelen változási folyamatok - melyek a rend-

szerek organikus voltából következnek - természetszerűen hatással vannak a tanulási/tanítási célokra és ezzel a kompetenciák kialakulására is.

A kompetencia fogalmát úgy határozhatjuk meg, mint egy személy alapvető, meghatározó jellemzői, melyek okozati kapcsolatban állnak a kritériumszintnek megfelelő hatékony és/vagy kiváló teljesítménnyel.[3]

Ebben a meghatározásban az alapvető azt jelenti, hogy a kompetencia eléggé tartós része a személyiségnek, hogy valószínűsítse a viselkedést a helyzetek és feladatok (szerepek) széles skáláján. Az okozati kapcsolat azt jelenti, hogy az adott kompetencia okozza, vagy legalábbis előrevetíti a viselkedést és a teljesítményt. A kritériumnak való megfelelés értelmében a létező kompetenciák alapján megjósolható, ki fog valamit jól vagy rosszul csinálni egy specifikus kritériumnak megfelelően. A kiváló teljesítményszint a sztenderd eltérés az átlagostól fölfelé, a hatékony teljesítés pedig a végzés minimálisan elfogadható szintjét jelenti.

Az egyén szintjén maradva a kompetenciáknak öt összetevőjét határozhatjuk meg: [3]

1. ismeretek, a tudás (knowledge): információk, amivel a személy rendelkezik;
2. készségek, jártasságok (skills), melyek bizonyos fizikai és szellemi feladatok teljesülésének képességét adják;
3. önértékelés, szociális szerepek, melyek személyes értékek (value) mentén szerveződnek, tehát olyan attitűdök, értékek, melyeket a személy fontosnak ítél, hogy legyenek vagy megtegye őket pl. siker, karrier;
4. személyiségvonások (character), vagyis pszichikai-fizikai jellemzők és a helyzetekre, információkra adott válaszok;
5. motivációk (motivation), irányítják, befolyásolják, szelektálják a viselkedést bizonyos magatartások, célok felé.

A kompetenciák tartalmilag egzakt definiálása mindenekelőtt azért nehéz, mivel a vizsgált rendszerek (bármely szintet vizsgálva) csak bizonyos absztrakciós szinten fogható fel statikus rendszerként: valójában inkább változási folyamatok összességéeként - eredőiként - írható le. A szüntelen változási folyamatok - melyek a rendszerek organikus voltából következnek - természetszerűen hatással vannak a tanulási/tanítási célokra és ezzel a kompetenciák kialakulására is. A kompetenciák tehát tartalmilag nem definiálhatóak teljes pontossággal, mivel azok a társadalmi környezettől, mint változó rendszertől - és ezen belül az oktatási valamint a gazdasági alrendszerrel - függő fogalmak.

A fentebb felsorolt jellemzők (kompetencia-összetevők) a tudatosság különböző szintjein vannak. Úgy képzelhetjük el őket, mint egy jéghegyet. A legtudatosabbak a vízszint fölött vannak és láthatóak, a kevésbé tudatos vagy tudattalan jellemzők a víz alatt vannak és a jéghegy láthatatlan részei.

Az általános képzés (közoktatás) az általános kompetenciák kialakítására törekszik, amely részben azokat a jellemzőket tartalmazza, amelyek gyakran előfordulnak, amelyeket általánosan alkalmaznak, és amelyek megteremtik az alapot ahhoz, hogy a funkcionális kompetenciák kialakíthatók legyenek, amelyek a kimagasló teljesítményt szolgáló szakmai tudást foglalják magukba. A funkcionális kompetenciák kialakítása alapvetően a szakközépiskolákban és a felsőoktatásban (annak állami és nem állami finanszírozású, ún. piaci intézményeiben), vala-

mint a nem iskolarendszerű képzések keretei között zajlik. A kompetenciák harmadik csoportja, az ún. kulcskompetenciák, amelyek a szervezet, intézmény stratégiai céljait támogatják; ezek termelése részben a munkaszervezeten kívül, részben azon belül folyik.

A repülő műszaki szakemberek, és elsősorban a műszaki tisztek alapképzésében ennek kapcsán a jövő képzési programjait illetően jelentős átalakításokra lesz szükség. A klasszikus képzési programok hangsúlyosan a mérnöki szakma kompetenciáit, képességeit, készségeit biztosítják, míg ez az új megközelítés a parancsnoki kvalitások kialakítását hangsúlyozza. Az alapvető katonai parancsnoki ismeretek, valamint készségek elsajátítása és kialakítása bizonyára nagyobb hangsúlyt kap a jövőben, ugyanakkor a konkrét szakmai kompetenciák kialakítása a korábbiaktól eltérő, újszerű megközelítéseket, módszereket igényel.

Megítélésem szerint a szakmával összefüggő kompetenciák súlya attól függ, hogy a vezető (parancsnok) által irányított szervezet feladatrendszerében, pontosabban a vezetés fókuszában az ember vagy a technika áll-e. Ez jól detektálható a szervezeti kultúrában, vagyis azokban az értékekben, melyet a szervezet tagjai informálisan elfogadnak, és magasra értékelnek. Egy nevezetű „ember központú” szervezet hatékony vezetése a humán vonatkozásokra összpontosító kompetenciákat igényel, míg a „technikai központú” szervezet inkább a magas szintű technikai, technológiai kompetenciákat preferálja. Tapasztalatom, és megítélésem szerint a repülő műszaki tevékenység döntően technikai jellegű, a szervezet értékrendje is ezek köré csoportosul. Emiatt csak egy jól átgondolt, és ennek figyelembe vételével készült képzési program képes ezt az ellentmondást feloldani.

Az előzőekkel szoros kapcsolatban áll a továbbképzések rendszerének kidolgozása. A funkcionális kompetenciák alakítása szinte kizárólag tanfolyami rendszerben történhet, melynek vélhetően ugyancsak a Nemzetvédelmi Egyetem adhat megfelelő kereteket.

A humán stratégiában rögzített cselekvések folyamat szemléletet tükröznek. Eszerint elsőként a munkakörök felmérését szükségszerű elvégezni, melynek eredményeként deklarálhatók azok a munkakörcsoportok, melyekhez az egyes pályamodellek megfeleltethetők. Az így kialakított munkakörcsoport-rendszer minden eleméhez teljesítmény kritériumok rendelhetők. Az egyes teljesítmény mutatók szoros összefüggésbe hozhatók a fent említett kompetenciákkal, valamint a továbbképzések rendszerével. Az eddigiekből is jól látható a humán stratégia elemeinek szoros egymásra épülése, valamint interdependenciái. Fontos kiemelni, hogy a megvalósítás igényli a cselekvések hierarchiájának betartását, különben vagy a stratégiai elképzelések megvalósulása szenved késedelmességet, vagy a kitűzött cél teljesül alacsony szinten.

## ÖSSZEGZÉS

A jelen tanulmányban igyekeztem rámutatni azokra a külső, és belső környezeti hatásokra, melyek a repülő műszaki szakemberek képzésével foglalkozó intézmények és szakemberek aktuális feladatait fogják meghatározni.

Kihívások jelentkeznek egyfelől a repülőtechnika szükségszerű korszerűsítése oldaláról, amely a párhuzamosan létező üzemeltetési stratégiák okozta konfliktus feloldását követeli megoldani, másfelől a humán stratégia megvalósítása vonatkozásában.

Ez utóbbi újabb keletű, azonban súlyánál, és a változtatások morfofenetikus jellegénél fogva igen erőteljesen érezteti hatását a repülő műszaki üzemeltetés szervezeteinél, és rendszereiben. A feladatok sikeres megoldása feltételezi a feladatok egyébként logikusan előírt sorrendjének betartását. A képzési rendszer átalakítása feltételezi, hogy ismertek legyenek a kimeneti követelmények, és feltételek.

Bízom abban, hogy az egyetemen ez irányban jelenleg is folyó kutatások eredményei hathatósan hozzájárulhatnak a stratégiai célok hatékony megvalósításához.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] KAVAS László: Harcászati repülőgép kiválasztásának módszere gazdasági – hatékonysági mutatók alapján, kis létszámú haderő légierejének korszerűsítésére, PhD értekezés, Szolnok, 2009 (92-95. o.)
- [2] A Magyar Honvédség humánstratégiája a 2012-2021. közötti időszakra, [www.kormany.hu/download/6/a9/40000/Humanstrategia.pdf](http://www.kormany.hu/download/6/a9/40000/Humanstrategia.pdf)
- [3] [www.mimi.hu/pszichologia/kompetencia.html](http://www.mimi.hu/pszichologia/kompetencia.html)





Dr. Kazi Károly<sup>1</sup>

## MAGYAR FEJLESZTÉSŰ, TELJESEN AUTOMATIZÁLT UAV RENDSZER<sup>2</sup>

*A BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. vezetésével (BHE), a BME Mobil Innovációs Központ (MIK) és az Óbudai Egyetem Neumann Informatikai Kar (NIK) részvételével létrehozott fejlesztői konzorcium egy teljesen automatizált pilótánélküli légi jármű (UAV) kifejlesztését kezdte el három évvel ezelőtt. A rendszer kétirányú kommunikációjának alapsávi részét a MIK, a földi irányító központ és az adatbázist kezelő szerver szoftverét a NIK, az összes többi részt – több alvállalkozó bevonásával – a BHE készítette el. A kifejlesztett gép fő jellemzői: 16 kg össztömeg, 3 kg hasznos teher, elektromotoros meghajtás, 60-90 km/óra utazósebesség, kb. 60 perc repülési idő, kommunikációs hatótávolság 15-20 km. A rendszer első változatának fejlesztése a végéhez közeledik, a prototípus tesztelése folyik, a tesztelési tapasztalatok figyelembevételével elkezdődött a sorozatgyártásra alkalmas verzió tervezése. A fejlesztést a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap támogatta (TECH\_08 MOBRB\_08)*

### **FULL AUTOMATIC UAV SYSTEM DEVELOPED IN HUNGARY**

*The consortium, led by BHE Bonn Hungary Electronics Ltd, members BME Mobile Innovation Centre (MIK) and Óbuda University Faculty of Neumann Informatics (NIK) started to develop a fully automatic UAV system three years ago. The baseband signal processing unit of the system's two way communication was developed by the MIK, the software of ground control center and database server is the work of NIK, all the other parts were made by BHE and its subcontractors. The main parameters of the system: total weight 16 kg, payload 3 kg, electric propulsion, speed 60-90 km/h, endurance 60 minutes approx., communication radius 15-20 km. The development of the system's first version is nearly completed, the prototype is under testing, according to the test results, the modifications for serial production is in progress. The project was supported by the Research and Technology Innovation Fund (TECH\_08 MOBRB\_08).*

## ELŐZMÉNYEK

Magyarországon a pilóta nélküli légi járművek (magyar rövidítésben: PNLJ, angolul: UAV) fejlesztése több mint 20 éves múltra tekint vissza. A teljesség igénye nélkül néhány lényegesebb a tervezett, ill. kifejlesztett rendszerek közül: a csehszlovák-magyar együttműködésben készülő SZOJKA (145 kg felszálló tömeg, 20 kg hasznos teher, 150-220 km/óra sebességtartomány, kb. 3 óra repülési idő), az olasz-csehszlovák-magyar közös fejlesztésű MIRACH rendszer több paraméterében felülmúlta volna a SZOJKÁT, teljes tömege 210 kg, hasznos terhe 50 kg, repülési ideje 12 óra lett volna, de sajnos a fejlesztési elképzelés a szerződéskötések szintjén elakadt. Elkészült viszont – magyar fejlesztés eredményeképpen – egy nagyobb és modernebb sárkány-hajtómű, a DENEVÉR, amely már 80 kg-os hasznos terhet tudott elvinni, felszálló tömege 160 kg, hatósugara 400 km, repülési ideje 10 órára volt tervezve, a fel- és leszállása futóművel történt. Ezt a gépet pilótával is berepülték, de sajnos a gyártásba vite-

<sup>1</sup> BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. ügyvezető igazgató, BME címzetes egyetemi docens, kazik@bhe-mw.eu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu



lére nem volt anyagi fedezet. Az elmúlt időszakban a ZMNE és a vele szoros együttműködésben lévő, elsősorban civil kutató és fejlesztő szakemberek, illetve vállalkozások igen intenzív kutatásokat folytattak a PNLJ-k elméletét és gyakorlati alkalmazását érintő kérdésekben. Ezzel párhuzamosan több, a gyakorlatban is kipróbált PNLJ született (METEOR, MAND, REKA, WARRIOR, stb.), de sajnos egyikük sem érte el a „piacérett” állapotot, nagyobb darabszámban sehol sem került alkalmazásra.

A katonai alkalmazásokon túl, az elmúlt években egyre nagyobb igény jelentkezett a polgári, katasztrófavédelmi, térképészeti és hasonló területeken történő UAV felhasználásokra. A nemzetközi és hazai piaci igények, a rendelkezésre álló szakirányú ismeretanyag és szakembergárda tette célszerűvé egy olyan program megfogalmazását, amely egy – a piaci igényeknek a lehetőségekhez képest maximálisan megfelelő, elsősorban polgári célú – UAV rendszer kifejlesztését tűzte ki célul. Ezen program megvalósítására jött létre 2008-ban egy konzorcium a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mobil Innovációs Központja (MIK), az Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai Kara (NIK) részvételével és a BHE Bonn Hungaria Elektronikai Kft. (BHE) vezetésével.

A projekten belüli munkamegosztásban a NIK a földi irányítóközpont szoftverének (virtuális pilótafülke) és a repülési adatok, valamint a hozzájuk szorosan kapcsolódó megfigyelési adatok (video, képek, egyéb szenzor adatok) tárolásra használt adatbázist kezelő szoftver létrehozását vállalta. A MIK – a rendszer egyik legkritikusabb részének – a megbízható, robosztus kommunikáció alapsávi részének kifejlesztését végzi. A rendszer összes többi elemének (sárkány, földi állomás, indítórendszer, fedélzeti elektronika, leszállítórendszer, stb.) kidolgozása a BHE feladata, amelyet több alvállalkozó bevonásával valósít meg.

## A RENDSZER

A projekt indulásakor a következő rendszerparaméterek lettek célul kitűzve:

- felszálló tömeg max. 12 kg, ebből hasznos teher 3 kg;
- repülési idő minimum 1 óra;
- repülési sebesség 60-100 km/óra;
- legnagyobb repülési magasság 1000 m;
- elektromos meghajtás;
- hatósugár (aktív, élő rádiókapcsolattal) 15-20 km;
- 500 programozható útvonalpont, repülés közbeni átprogramozással;
- útvonaltervezés digitalizált térkép, vagy műholdas kép alapján;
- adaptív, nagy megbízhatóságú kommunikációs rendszer;
- stabilizált kamerarendszer (látható tartományú ill. hőkamera);
- párhuzamosan hozzáférhető adatbázis a repülési és megfigyelési adatok (időbélyeggel ellátott képek) tárolására.

A fejlesztés első fázisa után egyértelművé vált, hogy a kitűzött 12 kg körüli felszállási tömeg nem tartható, ezért a második verzió már 16 kg-os tömegre lett méretezve. A megcélzott 1000 m-es repülési „plafon” viszont bőven túlteljesíthető, a tesztek során 3000 m tengerszint feletti

magasságon is repült a gép. A többi paraméter esetében is elértük a tervezett célparamétereiket. Ezek a paraméterek jól lefedik a piaci igényeket, bár a visszajelzések alapján hosszabb repülési időre (akár 90 perc) is van igény. Az is látszik, hogy a kézi irányítású leszállás nagy kockázatokat hordoz magában, ha a kezelőszemélyzet nem eléggé gyakorlott. Jelentős piaci előnyt jelenthet, ha a rendszer automata leszállásra is alkalmas.

A teljes UAV rendszer fizikailag négy fő részre tagolható:

1. indítóállomás (katapult);
2. földi irányító központ és adatbázis a kommunikációs adó-vevő állomással;
3. repülő egység a fedélzeti elektronikával;
4. leszállító egység.

A rendszer funkcionális blokkvázlata (az indító és leszállító egység nélkül) az 1. sz. ábrán látható.



1. ábra Az UAV rendszer funkcionális felépítése

A rendszer szállításához többfunkciós ládákat terveztünk, amelyek a biztonságos – akár légi úton történő – szállításhoz és természetesen tároláshoz szükséges csomagoláson kívül a telepítésnél rendkívül hasznos egyéb funkciókat is ellátnak. Ilyen például a földi irányító központ asztala és ülőrésze, valamint a laptop dobozok árnyékolást is biztosító fedél kiegészítője.



2. ábra A gép a szállítóládában és a szállítóláda kiegészítő funkciói

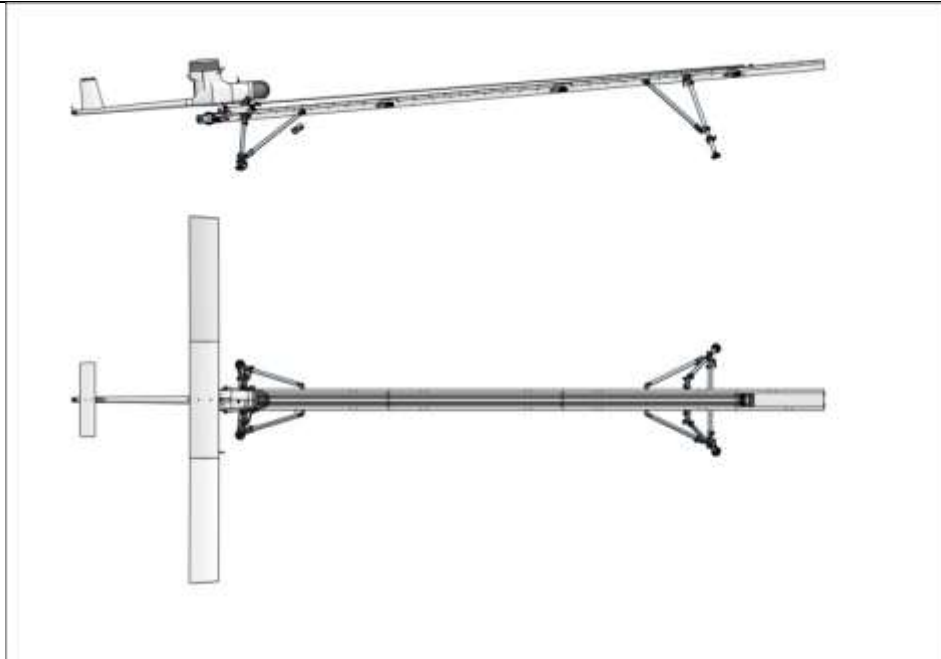
## A KATAPULT

Már a projekt kezdetén a maximálisan automatizált rendszer kifejlesztése volt a cél, ezért az indítóállomást is könnyen vezérelhető elektromotoros indításúra terveztük. El is készült egy elektromotoros változat, de sajnos a gyakorlatban nem vált be, az elektromotor felpörgési tehetetlensége pontosan a legkritikusabb indulási szakaszon nem tudott elegendő gyorsító erőt biztosítani, s emiatt a gép végsebessége túl kicsi volt a katapult végén.



3. ábra Az elektromotoros katapult fényképe

Ekkor két lehetőség közül választhattunk: az egyik, hogy tovább növeljük a gyorsítópálya hosszát, a másik, hogy másfajta energiatárolást használunk a gyorsításhoz. A katapult hosszát nem kívántuk az eddigi 5 m-ről tovább növelni, ezért a gumiköteles megoldás mellett döntöttünk. Ez a megoldás bevált a gyakorlatban, de az indítási folyamatot nagymértékben lassította a kézi csörlős gumi-felhúzás nehézsége és időigénye. Ráadásul a felhúzást – hogy a felhúzott gumi ne veszítsen energiatároló képességéből – az utolsó pillanatban, a teljes rendszer indításra kész állapotában kellett elvégezni.



4. ábra A kézi felhúzású gumiköteles katapult első verziójának rajza

Végső megoldásként az elektromotoros és a gumiköteles változat kombinálása látszik célszerűnek. Ebben a megoldásban a vezérlőpulttól kiadott indítóparancs hatására egy elektromotor felhúzza a gumikötelet, amely a felhúzás végállapotának elérésekor kireteszelődik, s azonnal indul a gyorsítási, kilövési folyamat. A gumikötél tulajdonképpen egy kocsit gyorsít, amelyre a gép úgy van rögzítve, hogy az alapállapotban pörgő motor mellett sem tud elindulni, de a pálya végén már szabadon elhagyhatja azt.



5. ábra A gép a kézi felhúzású gumiköteles katapulton

A berepülési kísérletek során – alternatív megoldásként, az egyszerűbb telepítés miatt – sok esetben csörlős indítást alkalmaztunk, de ezt sajnos csak viszonylag puha talaj (füves, homokos) és megfelelő hosszúságú indítópálya esetén lehet használni.

## A FÖLDI VEZÉRLŐKÖZPONT (GCC)

A földi vezérlőközpont fizikailag két fő részből áll: a vezérlést, az adattárolást és feldolgozást lehetővé tevő számítógép(ek)ből és a kommunikációs egységből. A számítástechnika mai fejlettségi szintje lehetővé teszi, hogy viszonylag kisméretű PC-ken (célszerűen ipari kivitelű laptopokon) meg lehessen valósítani a földi vezérlőközpont valamennyi funkcióját. A központi számítógépen fut az OE-NIK által kifejlesztett AirGuardian szoftver, amelyen keresztül fel lehet tölteni az útvonaltervet a fedélzeti számítógépre. Az útvonalterv 500 útvonalpontot tartalmazhat, valamennyi ponthoz meg kell adni a magasságot, sebességet és az adott pontra jellemző egyéb adatokat. [1][2]

A gép és a kamera kézi vezérlésének első verziója még botkormánnyal készült, de gyorsan bebizonyosodott, hogy a digitális adatfeldolgozás és egyéb kommunikációs késleltetések miatt ez nem használható elég hatékonyan. A kamera vezérlését számítógépes egerrel oldottuk meg, míg a gép kézi vezérlésére maradt – a földi vezérlőközponttól független üzemmódra is alkalmas – hagyományos, rádiós modellvezérlő (RC controller) egység. A földi vezérlőközpont legújabb verziója tulajdonképpen két – kemény burkolatú, ipari kivitelű, árnyékolóval kiegészített – hordtáskába helyezett laptop, amelyek közül bármelyik el tudja látni a virtuális pilótafülke szerepét, miközben a másik szabadon használható a felderítő kamera képének elemzésére, a kamera vezérlésére.



6. ábra A földi vezérlőközpont egyik számítógépe a beépített, ki-behajtható árnyékolókkal

A virtuális pilótafülke képernyője több nézettel rendelkezik, alkalmas a legfontosabb repülési adatok és műszerek, a gép aktuális pozíciójának vizuális ábrázolására és egyben a fedélzeti kameraképek valamelyikének megjelenítésére.



7. ábra A virtuális pilótafülke egy tipikus konfigurációja

Az AirGuardian szoftver és a kommunikáció lehetővé teszi, hogy a fedélzeti számítógéphez előre feltöltött útvonaltervet repülés (misszió) közben tetszőlegesen módosítsuk. Ez természetesen csak a még végre nem hajtott feladatokra vonatkozik.

Közismert, hogy nem minden műveleti területről létezik megfelelő pontosságú digitalizált térkép, ezért az útvonaltervező úgy lett megvalósítva, hogy – megfelelő kalibráció után – alkalmas legyen útvonaltervezésre és követésre egy műholdfelvétel felhasználásával is.



8. ábra Magassági tesztrepülés (2400 m magasságig) 3D megjelenítése

Valamennyi mért repülési paraméter, pozíció és a fedélzeti kamerák képe (illetve a tetszőlegesen konfigurálható egyéb szenzorok adata) lesugárzásra, s a földi irányító központ adatbázisába lementésre kerül. A szerverhez kapcsolódó – korlátlan számú – felhasználói számítógépen (kliens) az időben egymás mellé rendezett adatok tetszőleges szempontok alapján értékelhetők. A lesugárzással egyidőben a fedélzeti számítógép memóriájába is elmentésre kerül vala-

mennyi adat, s a gép visszatérése után a fedélzeti adatok áttölthetők az adatbázisba archiválás, vagy utólagos feldolgozás céljából.

Egy tipikus utófeldolgozás lehet az eltárolt GPS adatok alapján a megtett útvonal megjelenítése egy háromdimenziós ábrán. Egy várpalotai magassági tesztrepülés – amelyen 2400 m-es tengerszint feletti magasságot értünk el – ábrázolása látható a 8. sz. ábrán.



9. ábra A földi vezérlőállomás kommunikációs egysége

A földi vezérlőközpont másik fontos eleme a kommunikációs egység, amely magába foglalja a forgatható mikrohullámú antennákat, az adó-vevő egységeket, valamint az antennaforgatás vezérlését és bizonyos szintű adatfeldolgozást végző számítógépet. A kommunikációs egységet a rendszer telepítése során – a biztonság kedvéért – célszerű az irányító központtól olyan távolságra elhelyezni, hogy a központ körül mozgó személyzet ne zavarja a mikrohullámú antennák gépre történő rálátását. A két egység tápellátása egymástól független, közöttük nagysebességű adatkábeles összeköttetés van. Az antennaforgatást vezérlő egység saját GPS vevővel rendelkezik, s a repülőgépről kapott GPS adatok alapján kiszámítja a gép irányát, s ennek megfelelően fordítja az antennát. Amennyiben a kapcsolat megszakad, akkor a gép legutolsó pozíciójának, sebességének és irányának ismeretében feltételez egy szektort, ahol érdemes a gépet keresni. A gép keresését ebben az – időben bővülő – szektorban pásztázással végzi a kapcsolat helyreállásáig. A gép eközben természetesen végrehajtja az előre beprogramozott feladatot, az összes begyűjtött adatot a fedélzeti számítógép tárolja, s az a visszatérést követően áttölthető a földi irányítóközpont adatbázisába.

## A REPÜLŐ EGYSÉG (UAV)

Az egész rendszer feladatvégrehajtó egysége maga a repülő, amelynek főbb elemei a sárkány, a hajtómű, a fedélzeti elektronika és a cserélhető felderítő szenzor (az esetek többségében valamilyen kamera).

A sárkány alap konstrukcióját tekintve elektromotoros meghajtású, a szárny mögé beépített toló



légcsavaros megoldással. A meghajtó motor 1,2 kW-os, 24 V-os, 3 fázisú kefe nélküli motor. A sárkányból a fejlesztés során két verzió készült, először egy – az eredeti tervek szerint – könnyebb, 12 kg körüli verzió, amelynek az orr részében volt a vízszintes tengelyű kamera.

Az azonban gyorsan kiderült, hogy jobb paraméterekkel és több funkcióval rendelkező, nagyobb tömegű payload és fedélzeti elektronika készíthető, s így egy újabb változatot kellett készíteni, amelynek össztömege 16 kg körüli. Ebben a második verzióban a kamera (payload) már nem az orrban, hanem a gép súlypontja közelében függőleges tengellyel került elhelyezésre. Ezzel a megoldással elérhető, hogy a cserélhető hasznos teher tömegének esetleges változása nem, vagy alig lesz hatással a gép súlypontjának helyzetére. Hátránya, hogy a megfelelő látószög eléréséhez a testen kívül lévő kamera a tesztelés és használat során a gép egyszerű hasraszállását akadályozza. Ezen hátrány kiküszöbölésére egy kamera kitoló/behúzó lift szerkezetet fejlesztettünk ki, amely a fenti problémát megoldja, de plusz működési kockázatot, s extra tömeget visz be a konstrukcióba. Külön problémaként jelentkezett a kitolható kamera nyílásának lezárása leszálláskor.

A második verzió törzsébe – egy vész esetén használható – önkioldós ejtőernyő is beépítésre került. Az ejtőernyő nyitásakor egy előfeszített rugó löki ki azt a tároló dobozából, biztosítva azt, hogy a nyitóernyő ne akadjon el a gép légcsavarjában, vagy farokrészében. Az ejtőernyő kialakítása olyan, hogy földetéréskor leoldja az ernyőt a gépről, kizárva ezzel azt a kockázatot, hogy egy erősebb szélroham elkezdje vonszolni a gépet a földön.



10. ábra Az első és a második verziójú sárkány fényképe

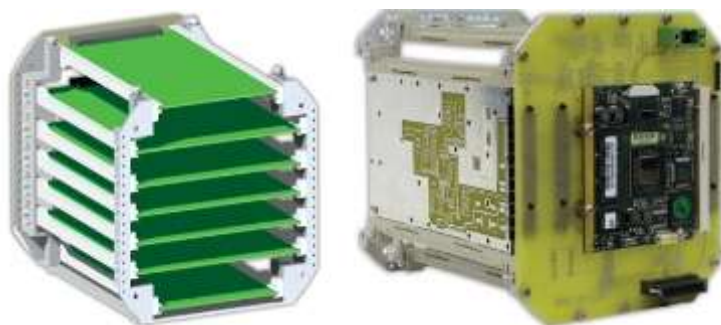
A második, megnövelt tömegű verzió szárny fesztávolsága is nagyobb lett, az eredeti 3,15 m-ről 3,70 m-re, így a gép – egyébként meglehetősen jónak mondható – repülési paraméterei gyakorlatilag nem változtak.

A fejlesztés során valamennyi szerkezeti elem ősdarabja és sablonja is a sárkányokat kifejlesztő BHE UAV műhelyében készültek. A törzs elemei kevlár és karbon erősítésekkel kiegészített kompozit technológiával készülnek. Egy-egy konstrukció kialakítása során előbb az ún. ősdarab készül el, ami egy pozitív megfelelője a majdan kialakítandó elemnek. Ezt követően az ősdarab felhasználásával készítjük el a negatív sablont, amelyben a ténylegesen repülő alkatrészek kerülnek kialakításra.



11. ábra A farokrész a sablonjával, ill. a törzs sablonja

A törzs közepében kapott helyet a fedélzeti elektronikát tartalmazó, rugalmas rezgéscsillapítókra szerelt „rack”. Ebben található az egyes funkciókat ellátó elektronikai modulok, mint a tápelosztó, a robotpilóta, a kommunikációs, a jelfeldolgozó panelek, s természetesen a fedélzeti számítógép. A fedélzeti elektronika a meghajtó elektromotortól független áramforrásról kapja az energiaellátást. A motorszabályzó saját hűtőbordával a „rack”-en kívül, a motor közelében kapott helyet.



12. ábra A fedélzeti elektromos rack szerkezete és fényképe

A robotpilóta térbeli tájékozódását inerciális helyzet és gyorsulás érzékelők, GPS vevő, valós sebességmérő segíti, így az a mindenkori elvárásoknak megfelelően tudja a gép mozgását szabályozni, korrigálni, ill. képes a rendelkezésre álló adatok tárolására és a földi vezérlőközpontba történő továbbítására.

A fedélzeti rendszer többféle szenzorhoz illeszthető, az eredeti elképzelés magában foglalta egy úgynevezett „pilótakamera” elhelyezését a törzsben. Ez a kamera hívatott volna helyettesíteni a pilóta szemét. A törzs valamely előre néző részében került volna elhelyezésre, s fixen előre nézett volna, minden vezérlési lehetőség nélkül. Ennek a kamerának fontos biztonságtechnikai szerepe lehet a későbbiekben, hiszen az ez által sugárzott kép folyamatos ellenőrzésével – s egy vész-eltérítő funkció beiktatásával – elérhető, hogy a teljesen automata üzemmódban küldetést teljesítő gépet egy ütközésveszélyes helyzet esetén kikerülő pályára irányítsa a kezelő. A piaci visszajelzések alapján erre a funkcióra még nincs valós piaci igény. Az alapverzióból ezért ezt a lehetőséget kihagytuk, az UAV rendszer opcionális funkciójává vált.

Az alábbiakban a stabilizált, látható tartományú és hőkamerákat mutatjuk be. A kamera-stabilizáló platform úgy lett kialakítva, hogy mindkét fajta kamerát be tudja fogadni, azok viszonylag egyszerűen cserélhetőek. A platform két tengely körül mechanikus, a harmadik tengely körül képfeldolgozáson alapuló elektronikus stabilizálást valósít meg.



13. ábra Stabilizált kameraplatform fényképe

A kamera képének elektronikus feldolgozása lehetővé teszi egy álló, vagy mozgó földfelszíni tárgy követését a repülőgép mozgásának kompenzálásával. A látható tartományú kamera főbb adatai:

<b>Látható tartományú kamera (VIS)</b>		
<b>Megnevezés</b>	<b>Érték</b>	<b>Megjegyzés</b>
Üzem mód	Nappali/Éjszakai	
Érzékelő	1/4" CCD	<i>CCIR/PAL</i>
Szkennelési mód (A) (25 kép/s)	Progresszív	<i>átkapcsolható</i>
Szkennelési mód (B) (50 kép/s)	Átviteli vonal	<i>átkapcsolható</i>
Pixelek (teljes)	795x596	<i>470 ezer</i>
Pixelek (effektív)	752x582	<i>440 ezer</i>
Zársebesség	1/30000...1/1,5	
Vízszintes felbontás (min./tip.)	520/540 TVL	<i>színes</i>
Vízszintes felbontás	600 TVL	<i>fekete-fehér</i>
Jel/zaj viszony	>50 dB	
Erősítés	0...30 dB	
Érzékenység (színes)	1 lux	<i>progresszív opció</i>
Képarány	4:3	
Optikai zoom	1...35	<i>H55,8°(széles)...H1,7°(teljes)</i>
Fókusz	kézi/automata	
Írisz	F1,4...F32	
Elektronikus képstabilizálás	ki/be	<i>távvezérelhető, opciós objektum követés</i>
Tápfeszültség	12V DC	
Áramfelvétel (@ 12V DC )	0,4 A	
Működési hőmérséklettartomány	0...+60°C	
Tárolási hőmérséklettartomány	-40...+85°C	



A hőkamera főbb adatai:

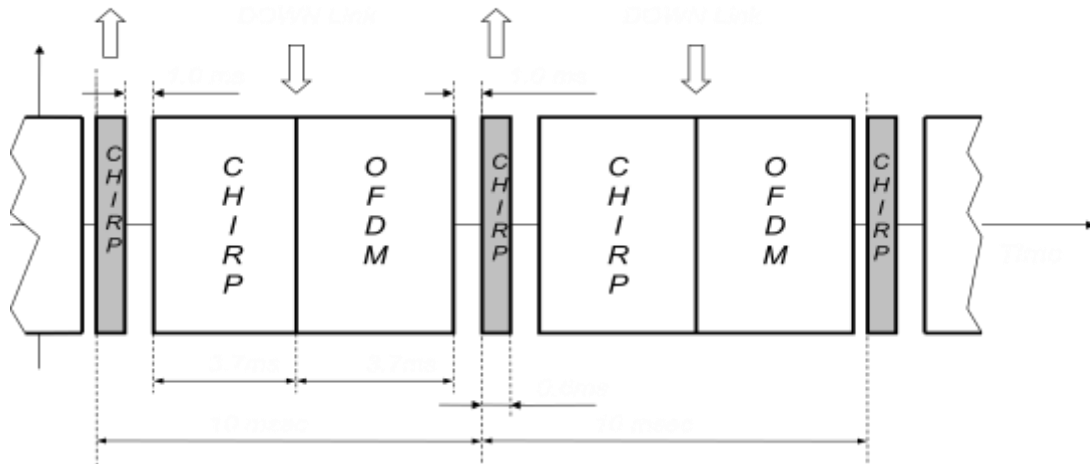
- felbontás: 384 x 288 pixel, opcionálisan: 640 x 480 pixel;
- spektrális érzékenység: 8 $\mu$ m – 14  $\mu$ m;
- NETD (F1.0; 300 K; 25 Hz): 50 mK (tipikusan);
- horizontális látószög: 30°;
- valamennyi paramétere távvezérelhető.

## A KOMMUNIKÁCIÓ

Az rendszer legkritikusabb része a kommunikáció. Az UAV piacon gyakran találkozunk olyan megoldással, amely egy teljesen hétköznapi, nem ilyen alkalmazásokra kifejlesztett adatátviteli megoldást (pl. WiFi vagy ZigBee) integrál be a rendszerébe. Ezen rendszerek tervezésekor nem veszik figyelembe, hogy a felhasználás szempontjából mennyire lényeges paraméter a megbízható, valós idejű adat és képátvitel. A felhasználónak ugyanis minden pillanatban tisztában kell lennie a gép helyzetével, a működési paraméterekkel, és természetesen látnia kell a felderítés eredményét, a fedélzeti szenzorok adatait. Biztonsági szempontból kiemelten fontos a levegő-föld irányú telemetria és föld-levegő irányú parancsok átvitele.

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a kommunikációt két részre lehet osztani. Az egyik kétirányú, szinte létfontosságú, de viszonylag kevés adat átvitelét jelentő, tehát keskeny sáv szélességű csatorna szolgál a levegő-föld irányú telemetria adatok átvitelére és fedélzetre érkezett parancsok visszajelzésére. Ugyanezen a csatornán történik a föld-levegő irányú vezérlő parancsok átvitele is. A kommunikációs rész fejlesztését végző MIK egy rendkívül robusztus, a modulációs módszerből adódóan nagyon megbízható megoldást a CHIRP modulációt választotta mindkét irányú adatátvitelre. A CHIRP moduláció lényege, hogy az egyik átvinni kívánt szimbólum (0) az adott frekvenciasáv egyik irányú (pl. a sáv alsó szélétől a felsőig), míg a másik szimbólum (1) ugyanazon sáv ellenkező irányú „átsöprésével” előállított jellel kerül átvitelre. [3][4]

A másik kommunikációs rész a felderítési anyag, a látható tartományú (éjjel-nappal látó), vagy hőkamera (infra) és esetleg más jellegű szenzor (pl. mikrohullámú szintetikus apertúrájú radar) nagy mennyiségű, tehát szélessávú jelének átvitelére szolgál. Természetesen a működés lényegét tekintve ez is fontos, de kevésbé szigorú elvárásoknak kell megfeleljen, ezért erre a sáv szélesség-takarékosabb OFDM (Orthogonal Frequency Domain Multiplexing) modulációt találtuk optimálisnak. A kétirányú és kétféle modulációjú információk átvitele egy frekvencián (a NATO által hasonló célokra használt C sávon belül) történik időosztásos módszerrel. A digitális jelfeldolgozó egység be- és kimenete pedig 70 MHz körüli középfrekvencián van. Ez azt jelenti, hogy a hasznos jel a  $70 \pm 10$  MHz frekvenciasávot foglalja el, azaz ezt a sávot mintavételezzük az analóg/digitális átalakítás során.



14. ábra A kommunikációs csatorna időosztása

A 14. ábrán jól látható, hogy a viszonylag kevés információt tartalmazó CHIRP csatorna levegő-föld irányba robusztussága miatt pontosan akkora időtartományt foglal el, mint a teljes video csatorna (OFDM).



15. ábra A kommunikációs jelfeldolgozó kártya (BBCOM) fényképe

## A LESZÁLLÍTÓ RENDSZER

Közismert, hogy a repülés egyik legkritikusabb manővere a leszállás. A tapasztalat is azt mutatja, hogy az UAV rendszerek egyik leggyakoribb balesete, hogy a – sok esetben nem megfelelően kiképzett, gyakorlatlan – kezelőszemélyzet nem tudja sérülésmentesen „letenni” a gépet. Emiatt már a fejlesztés elején elhatároztuk, hogy amint összeáll a rendszer, felvesszük a programba a leszállító rendszer automatizálását is.

A gépet elsősorban olyan, terepi használatra szánjuk, ahol nincs kifutópálya, sőt sok esetben a fel- és leszálláshoz szükséges szabad terep is szűkös. Az emiatt jelentkező indítási problémákat megoldja a fentiekben már részletezett katapult, de az üzembiztos leszállás már egy bo-

nyolcultabb, összetettebb feladat. A fejlesztés során – az esetek nagy részében – a gép kézi vezérléssel, futómű nélkül, a „hasára” szállt le. Ehhez azonban gyakorlott pilótára volt szükség. Többféle kísérletet (pl. ejtőernyős) végeztünk el a leszállási lehetőségek optimalizálására, s végül egy hálóba történő – automatizált – leszállás megvalósítása mellett döntöttünk. A kézi vezérléssel, hálóba történő leszállás tapasztalatai azt mutatták, hogy amennyiben a hálóba tudjuk vezetni a gépet, akkor maga a hirtelen negatív gyorsulás nem okoz problémát, a háló biztonságosan le tudja fékezni a gépet.



16. ábra Az UAV a leszállító hálóban

A háló 6 m magas és 14 m széles, rögzítése úgy van megoldva, hogy viszonylag nagy úton lassítja le a gépet, s a gép orrában elhelyezett kampó a hálóba akadva megakadályozza a gép földre esését.

Az automata hálóba vezetésre több lehetőség kínálkozik, pl. optikai, képfelismerésen alapuló, lézeres, rádiós, stb. Mivel cégünk fő tevékenysége a rádiófrekvenciás kutatás-fejlesztés, logikus döntésnek tűnik, hogy a rádiós megoldás mellett döntöttünk. A leszállító rendszer alapelve az, hogy a fedélzeten elhelyezett rádióvevő folyamatosan méri a megfelelő pozícióban elhelyezett rádióadóktól való távolságot, s ennek segítségével a gép a hálóba vezethető. A hálótartó rudakon elhelyezett egy-egy rádióadótól való azonos távolság meghatároz egy, a háló közepén áthaladó függőleges síkot, míg egy harmadik adó – megfelelő eltolással – az előző adók bármelyikével az előző síkra merőleges, de ferde, s szintén a háló közepén áthaladó síkot. A két sík metszése adja azt az elméleti egyenest, azt a siklopályát amelyen a gépet a hálóba kell vezetni. A leszállási manőver kezdetén a robotpilóta a GPS pontosságával, egy a hálótól kb. 700 m-re lévő, az adott egyenesen lévő pontra vezeti a gépet, majd ráfordul egy következő, a háló irányában, kb. 200 m-re elhelyezett, – szintén a siklopályán lévő – útvonalpontra. Ezzel elértük, hogy a gép már a háló felé repül, de még meglehetősen pontatlan pályán (GPS pontosság:  $\pm 15$  m). Eközben már venni tudja a referenciaadók jeleit, s megfelelő ellenőrzések után a robotpilóta már ezen jelek alapján képzett hibajel minimalizálásával vezeti a gépet.



A fentiekben vázolt automata leszállító rendszer részelei már le lettek tesztelve, de a rendszer még további fejlesztésre vár.

A fejezet elején említett ejtőernyős leszállítási kísérletek is sikeresek voltak, de ezt a leszállítási módot meghagytuk vész-leszállás esetére

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben vázolt fejlesztés eredményeként egy különösebb infrastruktúrát nem igénylő, olcsón üzemeltethető, polgári, katasztrófa-elhárítási, kutatás-mentési feladatokra használható, a mini kategóriába tartozó UAV rendszer prototípusa jött létre. A magas-szintű fedélzeti és vezérlő-központi intelligencia lehetővé teszi a rendszer teljesen automatizált működését, melynek következtében a felhasználók köre sokkal szélesebb lehet, mint más, hasonló rendszereké.

A fejlesztés külön kiemelhető eredménye, hogy valamennyi kritikus eleme hazai fejlesztésű, tehát a rendszer könnyen alakítható a felhasználók speciális igényeinek maximális kielégítésére. A rendszer prototípusa elkészült, jelenleg a tesztelése folyik. Az eredmények figyelembevételével egy egyszerűbben, gazdaságosabban gyártható, s hasonló, vagy jobb paraméterekkel rendelkező piacképes verzió tervezése folyik.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] dr. Molnár András, dr. Vámosy Zoltán: Mobilrobotikai eredmények a NIK-en, A guruló robottól a robotosított repülőig (1. rész), ELEKTRONET, XX. évf. 6. szám. 2011. október, 16-17. old.
- [2] dr. Vámosy Zoltán, dr. Molnár András: Mobilrobotikai eredmények a Neumann János Informatikai karon, A guruló robottól a robotrepülőig (2. rész), ELEKTRONET, XX. évf. 7. szám. 2011. november, 16-17. old.
- [3] Belső Zoltán, dr. Elek Kálmán, dr. Koller István, Mikó Gyula: Magyar fejlesztésű, korszerű kommunikációs rendszer mobil alkalmazásokra (1. rész), ELEKTRONET, XXI. évf. 2. szám. 2012. március, 14-15. old.
- [4] Belső Zoltán, dr. Elek Kálmán, dr. Koller István, Mikó Gyula: Magyar fejlesztésű, korszerű kommunikációs rendszer mobil alkalmazásokra (2. rész), ELEKTRONET, XXI. évf. 3. szám. 2012. április, 17-19. old.



Dr. Jakab László<sup>1</sup>

## A PRT NEM SZERVEZETSZERŰ TŰZOLTÓ TANFOLYAMOK TAPASZTALATAI<sup>2</sup>

*A PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamok szervesen illeszkedtek be a Magyar Honvédség által megrendelt tűzoltó tanfolyamok sorába. Évente – a váltásoknak megfelelően kétszer kerültek megtartásra Szolnokon a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem campusán. Az általános és a szakmai követelményeket a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokság adta ki, ezek alapján készültek el a tanfolyamok tantárgyprogramja és tematikája. A képzés elméleti -, és gyakorlati felkészítésből állt és a tanfolyam végén tanfolyami záróvizsgán került felmérésre a hallgatók tudásszintje.*

### **EXPERIENCE OF THE PRT FIRE FIGHTING COURSES**

*The PRT fire fighting courses originally integrated in the fire fighting courses that were ordered by the Hungarian Army. These courses were held two times a year in Szolnok in the campus of the Miklós Zrínyi National Defence University. The Joint Forces Command determined the general and theoretical requirements which were the basis of the course program. The courses divided into theoretical and practical parts, and the students had to pass a final exam in the end of the training.*

A 17/2003. (HK) HM KÁT-HVKF együttes intézkedésében meghatározásra kerültek a különböző tanfolyamrendszerek. A tanfolyamrendszerek egyik fajtája a katonai-szakmai ismeret kiegészítő tanfolyamok. Ebbe a tanfolyamrendszerbe tartoztak a repülőtéri tűzoltó alaptanfolyamok, a repülőtéri szerződéses (speciális) -, és a repülőtéri szakasz (váltás) parancsnoki tűzoltó tanfolyamok. Ide illeszkedett be 2009-ben az Összhaderőnemi Parancsnokság által megrendelt PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyam is.

## A PRT-K (TARTOMÁNYI ÚJJÁÉPÍTŐ CSOPORTOK) LÉTREJÖTTE

Afganisztánban a tálib rendszer bukását követően az ENSZ Biztonsági Tanácsának 1386. számú határozatának Biztonsági Tanácsának határozatával létrehozott ISAF (International Security Assistance Force – Nemzetközi Biztonsági Közreműködő Erők) feladata „*kialakítani egy stabil, biztonságos környezetet és egyúttal hozzájárulni az afgán társadalom és gazdaság hosszú távú, folyamatos fejlődéséhez*”. [1] A NATO 2003 óta irányítja az ISAF-ot. Arra törekednek, hogy Afganisztán demokratikus, békés átmenetét biztosítsák és hozzájáruljanak az önálló afgán kormány stabil működéséhez, a nép védelméhez, ami 2014 után várható NATO erők kivonulása után stabil, biztonságos és demokratikus rendszer működését teszi lehetővé Afganisztánban. Jelenleg 28 PRT működik az országban, ezek a PRT-k katonai és civil személyek kicsi csoportjai, amelyeknek a feladata – Afganisztán különböző tartományaiban működve – hozzájárulni a térség biztonságához, biztosítani az újjáépítési-, humanitárius-, és segélyezési tevékenységeket.

<sup>1</sup> Phd., ny. alezredes

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Restás Ágoston, egyetemi docens, mb. tanszékvezető, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék, arestas@r-fire.hu





1. ábra A 28 ISAF PRT elhelyezkedése (Forrás: isaf.nato.int.)

A Magyar Honvédség részvétele az afganisztáni PRT-kben politikai-, gazdasági (pénzügyi)-, katonai-, kulturális-, és civil együttműködést jelent. Ezekkel a területekkel a cikkben nem szándékozom részletesen foglalkozni. Az afganisztáni küldetés veszélyes küldetés, eddig 6 fő nem tért vissza élve – ezért a felkészítésnek kiemelt feladata van minden területen.

## A TANFOLYAMOK ELINDÍTÁSÁNAK SZÜKSÉGESSÉGE

A PRT nem szervezetszerű tűzoltó tanfolyamok megtervezésére, megszervezésére és végrehajtására azért volt szükség, mert a Magyar Honvédség Afganisztánban működtet Tartományi Újjáépítő Csoportot (PRT).



2. ábra Camp Pannónia, Baghlan, Pol-e-Khumri (Forrás: honvedelem.hu)



A PRT személyi-, anyagi-, és technikai szempontból is veszélyeket hordoz magában (helikopter leszállóhely, üzemanyagöltő, veszélyes anyagok tároló helyei stb). Mivel önálló, független tűzoltó szervezettel nem rendelkezik, ezért a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnoksága nem szervezetszerű tűzoltó alegység működtetését rendelte el. Ebben az alegységben résztvevő katonák a kinti eredeti beosztásuk ellátása mellett riasztás esetén tűzoltó feladatokat is ellátnak. Ezek felkészítését szükséges végrehajtani évente kétszer 20-20 fővel.

## A TANFOLYAMOK IGÉNYLÉSE, MEGTERVEZÉSE, MEGSZERVEZÉSE

A tanfolyamok megtervezése, megszervezése nagy körültekintést igényelt a megrendelő (MH Összhaderőnemi Parancsnokság) és a végrehajtó (Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem ((ZMNE)) Bolyai János Hadmérnöki Kar (BJHK) Repülőműszaki Intézet, majd később ZMNE BJHK Repülő-, és Légvédelmi Intézet (RLI). 2011-től ZMNE Hadtudományi -, és Honvédtiszti Kar (HHK) Katonai Üzemeltető -, és Logisztikai Intézet (KÜLI) Katonai Repülő-, és Légvédelmi tanszék) részéről.

### A tanfolyamok igénylése

A tanfolyamokat a Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokság igényelte – az éves PRT váltásoknak megfelelően - a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemtől azzal a kéréssel, hogy a tanfolyamokat a Bolyai János Katonai Műszaki Kar szolnoki campusán hajtsák végre. Az Összhaderőnemi Parancsnokság tűzvédelmi főtisztje előzetesen egyeztetett a tanfolyamot felvállaló tanfolyam vezetőjével és az intézet igazgatójával. A tanfolyamok betervezésre kerültek a Honvédelmi Minisztérium beiskolázási tervébe és a minisztérium a tanfolyamok költségeit az egyetem költségvetésébe biztosította. 2010-ben egy plusz tanfolyam került igénylésre, mert az eredeti tanfolyamon részt vettek száma nem biztosította volna kint a tűzoltási szakfeladatok maradéktalan végrehajtását. Erre az Összhaderőnemi Parancsnokság külön pénzkezetet biztosított az egyetem részére és külön szerződést kötött a tanfolyamra.

### A tanfolyamok megtervezése

A tanfolyamokat – mivel 2005-ben az utolsó oktató is nyugdíjba ment, aki a repülőtéren tűzoltó szakmai képzést vezetett – a ZMNE állományában nem oktatói beosztásban dolgozva, Szolnokon a repülőbázison a Repülőműszaki Oktatásbiztosító Központ középfokú tűzvédelmi tanfolyamot végzett szakemberével együtt tervezte meg az Összhaderőnemi Parancsnokság által kiadott általános és szakmai követelmények alapján. A parancsnokság tűzvédelmi főtisztjeivel együttműködve pontosításra kerültek a tanfolyamok főbb témakörei, óraszámai, melyek végleges formában meghatározásra kerültek a követelményekben. A két fő elkészítette a tantárgyprogramot, amely alapján megkezdődhetett a tanfolyamok tervezése. Az elméleti foglalkozásokhoz alapvetően – a két főn kívül – az oktatást vállaló külső szakemberek kerültek betervezésre.

A gyakorlati foglalkozásokhoz – az elméleti foglalkozásokra tervezettekén kívül a ZATU (Zászlóalj Autonóm Tűzoltó Utánfutó) is biztosításra került. A tanfolyamok 8 napra kerültek betervezésre, összesen 60 órában. Ez napi 8 óra elfoglaltságot jelentett a hallgatók számára és

a vizsga az utolsó napra lett tervezve. Elég feszített ütemű volt a hallgatók számára, mert a napi 8 óra tanulás után kellett a szabadidőt feláldozva felkészülniük a vizsgára

## **A tanfolyamok megszervezése**

A tanfolyamokhoz a tantermeket Szolnokon az intézet biztosította az oktatástechnikai eszközökkel (számítógép, projektor stb.) együtt. Az oktatók megkapták a tanfolyam vezetőitől az oktatandó tananyag tartalmát, az oktatás idejét, az elvárt követelményeket, ők pedig megadták a tanfolyam vezetőinek a vizsgára javasolt kérdéseket. A külső oktatókat és az általuk leadott órákat rögzítették a NEPTUN rendszerbe, mert csak ezek alapján lehetett elszámolni a részükre az óradíjakat – amelyekre a tanfolyam megkezdése előtt szerződést kötöttek az egyetemmel. A szerződések megkötése csúszott a ZMNE átalakítása és egyéb szabályozások miatt. Ezek mind befolyásolták az addigi olajozott szervezést.

## **A TANFOLYAMOK KÖVETELMÉNYEI**

A tanfolyam tervezésre került a 17/2003. (HK. ) HM KÁT-HVKF együttes intézkedés, a HM HVK. Főnökének 326/2001. (HK. 1/2002.) intézkedése a „Magyar Honvédségnél folytatott felkészítés és kiképzés középtávú célkitűzéseiről és követelményei”-ről, a NATO AFS, III., VI. kötet, a NATO STANAG 3712 CFR (Ed. 6.), 3861 CFR (Ed. 5.), 3863 CFR (Ed.2.), 3896 CFR (Ed.4.), 3929 CFR (Ed. 5.), 7048 CFR (Ed. 3.), 7133 CFR (Ed. 2.), 7145 CFR (Ed. 3.), 7162 CFR (Ed. 1.), az 1996. évi XXXI. törvény „A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról”, valamint a 31/2001 (XII. 28.) HM rendelet „A tűzvédelem és a műszaki mentés honvédelmi ágazatra vonatkozó különös szabályairól”, valamint az MSZK 1123/2002., a 118/1996. (VII. 24.) kormányrendelet, a 32/2002. (XII. 12.) BM rendelet, valamint a 16/2003. (IV. 18.) BM rendelet alapján. A 18/2008 (08. 06.) HM rendelet: A tűzvédelem és a műszaki mentés honvédelmi ágazatra vonatkozó különös szabályairól.

### **Szakkövetelmények**

A tanfolyamon meg kellett ismerni a hallgatóknak az 1996.évi XXXI. törvény A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról és a 31/2001 (12.28) HM rendelet: A tűzvédelem és a műszaki mentés honvédelmi ágazatra vonatkozó különös szabályairól, a ZATU működési elvét, alkalmazását tűzoltás során. Az Összhaderőnemi Parancsnok követelményeit 234/99/2007: A katonai objektumok tűzvédelmét külföldön végrehajtott katonai tevékenységek esetén. A különböző tűzoltó eszközöket, az oltástechnikákat, az egyéni védőeszközöket. A NATO AFS III. és VI. kötetet.

### **Általános-, szakmai-, tanfolyami-, és vizsgakövetelmények**

*Az általános követelmények alapján:* a Tartományi Újjáépítő Csoportba (PRT) beosztott nem szervezetszerű tűzoltó rendelkezzen a feladatokhoz való pozitív hozzáállással, kiemelkedő felelősség tudattal, lényeglátással, kreativitással, problémafelismerő és megoldó képességgel, kockázat-felismerési és gyors döntési képességgel, adaptáló, szervező, koordináló, és kommunikációs képességgel. Legyen bátor, megbízható, és etikus. Legyen képes jártasság szintjén

adaptálni a megszerzett ismereteket, legyen képes a pszichikai és a fizikai megterhelések elviselésére. Rendelkezzen magas fokú végrehajtói képességgel.

*A szakmai követelmények alapján:* az elsajátított ismeretek alapján legyen képes: a rendszersített ZATU-val és más tűzoltó eszközökkel légi jármű balesetkor a közvetlen és közvetett életveszélyben lévő emberek mentésére és a tűz oltására, a tüzeseteknél a közvetett és közvetlen életveszélyben lévő emberek mentésére, az anyagi javak védelmére, a tűz terjedése megakadályozására és a tűz eloltására, a közvetlen tűz- vagy robbanásveszély esetén a biztonsági intézkedések végrehajtására.

*Tanfolyami és vizsga követelmények:* a hallgatóknak a tanórák 75%-án kötelező volt a részvétel. Hiányzás csak külön egységparancsnoki kérésre, vagy betegség esetén volt megengedhető. Mindkettőről írásbeli igazolást kellett hozni. A tanórákon kötelező volt a hallgatóknak jegyzetelni, ha az oktató tanár feladatot szabott, akkor azt a hallgató köteles volt a legjobb tudása szerint elvégezni. A vizsgára csak az a hallgató volt bocsátható, aki a tanórák 75%-án részt vett és az oktatói kollektíva az oktatási tapasztalatok alapján alkalmasnak találta a hallgatókat a vizsgára.

*A vizsgabizottság elnöke:* az Összhaderőnemi Parancsnokság állományából a legmagasabb szakmai képesítéssel rendelkező főtiszt volt. A vizsgabizottság tagjai az oktatói állományból kerültek ki. A vizsgán a hallgatók a következő főbb ismeretekből vizsgáztak: megelőző tűzvédelem, tűzoltási és mentési ismeretek, szerelési ismeretek, ZATU és egyéb tűzoltó eszközök (felszerelések), éles tűzoltási gyakorlat.



3. ábra A tanfolyamon még teljes létszámmal, de ... (Forrás: Baksi örgy. 2011.7.13.)

## AZ ELMÚLT ÉVEK TANFOLYAMAINAK TAPASZTALATAI

A három év alatt a tanfolyamok mind különböztek egymástól valamiben, nem voltak egyformák. Ez megmutatkozott a felkészítés formáiban, a tanulásban és az elért eredményekben.

## A tanfolyamok indításának tapasztalatai

A három év alatt 7 tanfolyam végzett, ez évi két tanfolyam, plusz 2010-ben egy kiegészítő tanfolyam. A 2009. évben 2 tanfolyam indult 37 fővel, 2010-ban a 3 tanfolyam került beiskolázásra 40 fővel – itt a kiegészítő tanfolyamra azért volt szükség, mert az első tanfolyamra beiskolázottak létszáma nem biztosította az Afganisztánba tervezett állományból a nem szervezetszerű felkészítésen résztvevő létszámot. Tehát a megrendelő a saját maga által kért létszám keretét csak egy tanfolyamra nem tudta feltölteni. A tanfolyamra beiskolázottak közül 1 főnek (kötelező előírás!) mindig volt középfokú tűzvédelmi vizsgája, általában 5-10% rendelkezett valamilyen tűzvédelmi felkészítés utáni tapasztalatokkal, a tűzvédelemmel mintegy 40-50%-uk került már kapcsolatba (főleg a raktárosi beosztást betöltők), 20% egyéb beosztásból jött- kevés tűzvédelmi ismerettel, 5-10% ismétlő és a maradék 10% kevés katonai tapasztalattal rendelkezett.

## A tanfolyamok oktatási tapasztalatai

Az általános követelmények ismertetése során kiderült, hogy minden egyes követelményt külön el kell magyarázni, mert újdonság volt a számukra – főleg azt kellett tisztázni, hogy hősökre nincs szükség tűzoltási feladatok végrehajtása során, csak élő katonákra. Az előadások során a hallgatók nagy odafigyeléssel próbálták megérteni a számukra idegen szakkifejezéseket, fogalmakat. Felismerték az előadások során, hogy rájuk az esetlegesen végrehajtásra kerülő tűzoltási-, mentési feladatok során milyen nagy felelősség hárul, melyet csak egymást segítve tudnak hatékonyan végrehajtani. Az elméleti foglalkozások jól alapozták meg a gyakorlati foglalkozásokat. Az ellenőrző foglalkozásokon – mely alapvetően az elméleti foglalkozások anyagát ölelte fel – általában a hét tanfolyamon – 3,2-3,6-os átlageredmény született.



4. ábra ZATU elméleti oktatás (Forrás: Baksi örgy .)

A gyakorlati foglalkozásokon a hallgatók nagy aktivitással dolgoztak és először sok hibával, amit a foglalkozás vezetők azonnal javítottak. A többszöri gyakorlás során már kevesebb hibát vétettek. A gyakorlati foglalkozások kiemelt részét képezték a tömlőszerelési és a ZATU foglalkozások. Mivel az afganisztáni táborban a ZATU a fő tűzoltó eszköz, ezért ennek a tűzoltó utánfutónak a használatát jól be kellett gyakorolni, hogy majd kint a táborban – ha szükség lenne rá – hatékonyan tudják alkalmazni. A gyakorlati foglalkozásokon a foglalkozásvezetők kiemelt figyelmet fordítottak a sérülések, balesetek megelőzésére – mivel a hallgatók nem eredeti tűzoltók voltak. A 7 tanfolyamon baleset és sérülés nem történt. A gyakorlati foglalkozásra a koronát az éles tűzoltási gyakorlat tette fel, ahol már elég „meleg” helyzetekben kellett a tűzoltási feladatokat végrehajtani.



5. ábra Éles tűzoltási gyakorlat.(Forrás: Baksi örgy.)

### A tanfolyamok vizsgatapasztalatai

A hallgatók felkészítése a vizsgára minden tanfolyamnál megtörtént, a vizsgán mégsem tudta minden hallgató maximálisan meggyőzni a vizsgabizottságot a fellépésével és a feleletével az *elméleti vizsgán*. Szöges ellentéte volt egyes halkan hebegő vizsgázó az elvileg bátor leendő nem szervezetszerű tűzoltónak. Időnként meglepődött az a vizsgázó, akivel újra elmondattuk azt, hogy mit mondott előtte- nem akarta elhinni, hogy tényleg ő *kreálta a csodálatos megállapításokat*. Az elméleti vizsgán a vizsgázók 40%-a talpraesetten-, 40%-a megfelelő meggyőződéssel-, és 20%-a félénken vizsgázott. Érdekesség, hogy az első tanfolyamon nem volt jeles vizsgaeredmény. A tanfolyamot minden beiskolázott minimum elégséges vizsgaeredménnyel befejezte, nem volt szükség pótvizgára. A vizsgáról nem hiányzott senki.

Tanfolyamok vizsgaátlaga 3,0 és 4,2 között mozgott. A hét tanfolyam vizsgaátlaga: 3,72 volt.

Az *írásbeli vizsgán* a vizsgázók 40%-nál a problémát az jelentette, hogy nem használták helyesen a tűzoltó szakkifejezéseket, 5-10%-a félreértette a kérdést, 3-5% nem válaszolt minden vizsgakérdésre. A vizsgabizottság által feltett kérdésekre 60%-ban helyes választ adtak, 30%-ban újabb kiegészítő kérdést kellett adni a vizsgázóknak és csak 5-10% adott helytelen választ.



6. ábra Helikopter leszállás tűzvédelmi biztosítása a PRT-ben.(Forrás: haborumuveszete.hu)

## AZ OKTATÁS ÉS A VALÓSÁG ÖSSZHANGJA

A tábor területe és a területen telepített különböző objektumok, technikai eszközök és emberi létszám problémái. A tábor tűzvédelmét 1+5 fős létszámú nem szervezetszerű tűzoltó raj látja el. [2] A tűzoltó felszerelés 1 db ZATU és 2 db hollandok által hátrahagyott motoros fecskendő, a tűzoltásra kijelölt állománynak tűzoltó védőöltözet és légzőkészülék. A helikopter leszállóhely tűzoltói képesség biztosításához a STANAG 7206 Ed. 1) 20. pontját, a tűzoltó erőeszköz biztosításához a MSZK 1123/2005 szabványt kellene alkalmazni. A tűzoltó védőruha fényvisszaverő felületeinek hatásai. Téli időjárási viszonyok közötti tűzoltás problémái. A helyi afgánok „tűzbiztos” tevékenységei.

## A TANFOLYAMOK JÖVŐJE

Évente 2 tanfolyamot maximum 20 -25 fővel szükséges kiképezni, amíg a Magyar Honvédség a PRT-t működteti Afganisztánban. 2012-ben még nem lehetett a HM beiskolázási tervében szereplő tanfolyamokat tervezni, mert az előző évekkkel ellentétben a Nemzeti Közszolgálati Egyetem nem tudta biztosítani, a 2 fő külső oktatónak az óradíjat. Belső oktatóval nem lehet megoldani, mert a Hadtudományi és Honvédtisztai karnak nincs egyetlen olyan oktatója sem (nincs szervezve), aki a nem szervezetszerű tűzoltó állomány szakmai felkészítését végezné (a ZMNE-nek 2005 óta nem volt!) csak nyugállományú szakemberek voltak és vannak. Két rossz megoldás van: egyik, hogy csapatszinten megoldják a felkészítést oktatási tapasztalattal nem rendelkező szakemberekkel – viszont a repülőeszközökkel és a ZATU-val való gyakorlat csak Szolnokon lehet végrehajtani, mert itt vannak eszközök, vagy a másik, hogy a Katasztrófavédelemmel oldatják meg – de azok nem ismerik a PRT tábori körülményeit, a kato-



---

nai repülőeszközöket és a zászlóalj autonóm tűzoltó utánfutót, mert a tűzoltóságoknál ilyen eszközök nincsenek. Ezek hatékonyságát nem kell ecsetelni. Van egy jó megoldás: A PRT tanfolyamot nem kell a HM beiskolázási tervében az egyetem pénzügyi tervében biztosítani, hanem - mint 2010-ben – külön szerződést kell kötni az egyetemmel a képzésre az MH PRT pénzügyeit felügyelő MH alakulatnak és a külső oktatókkal megoldható az eddigi színvonalon, vagy külső „céggel” szerződést kötni – ugyanazon oktatók bevonásával.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] SZIU Dóra: A biztonság, a fejlődés és a fejlesztés dilemmája - A PRT koncepció lényege és megvalósulási formái a NATO afganisztáni szerepvállalásában – <http://www.biztonsagpolitika.hu> – 2011.július 17.
- [2] 102/2008.(HK.15) HM intézkedés 11/c pont



Dr. Dunai Pál<sup>1</sup>

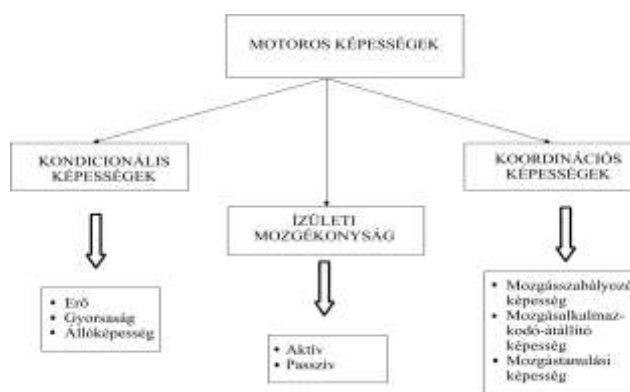
## **AZ ÜGYESSÉGELMÉLET JELENTŐSÉGE A HAJÓZÓ ÁLLOMÁNY ÉS UAV KEZELŐSZEMÉLYZET FELKÉSZÍTÉSE SORÁN. A KÉPESSÉGFEJLESZTÉS LEHETSÉGES MÓDSZEREI<sup>2</sup>**

*A motoros képességek közül az ügyesség fejlesztés a legösszetettebb és legkevésbé feltárt területe az ember mozgását tanulmányozó tudományoknak. Jelentősége a katonai kiképzésben és felkészítésben is nagyon nagy. Az MH belül viszont szinte alig irányul figyelem e képesség vizsgálatára. A cikk ismerteti az ügyesség elmélet evolúcióját és jelentőségét a polgári életben és a katonai tevékenység végrehajtásában. Az alap fizikai képességek fejlesztésmódszertana és elmélete nagyon részletesen kidolgozott az ügyesség fejlesztésének módszereihez képest. A téma mélyebb vizsgálata és a korszerű ismeretek beépítése a kiképzés és felkészítés rendszerébe nagyban emelheti annak hatékonyságát.*

### **POSSIBLE DEVELOPMENT OF POTENTIAL METHODS FOR PRACTICAL TRAINING OF AIRCREWS AND UAV CREWS FROM THE ASPECT OF USING THE SKILL THEORY**

*From among the motor abilities, the skill development is the most complex and area opened up little for the science, which studies the man's motion. His significance in the military training and preparing is very big. In Hungarian Defence Forces had been taken hardly direct attention on this ability examination. The article gives the evolution of a theory and his significance in the civil life and the execution of the military activity. The methodology of physical abilities preparing and his theory are very in detail worked out compared to the methods of the development of the cleverness. The deeper examination of this topic and the building in the modern knowledge to the training and preparing system may increase efficiency of this process to it on a large scale.*

Az ember mozgástevékenységének vizsgálatában a motoros képességek (1. ábra) közül a koordinációs képességek vizsgálatára irányul a legkevésbé figyelem. Ennek számos oka van, valószínűleg az egyik legfontosabb ok lehet a képesség bonyolult struktúrája és fejlesztésének egyrészt genetikailag determinált lehetőségei, másrészt a fejlesztés időigényessége és nehezen megjósolható végkimenetele. Milyen tényezők teszik az ügyesség elemzését ma aktuálissá?



1. ábra Motoros képességek (szerkesztette: Dunai Pál)

<sup>1</sup> alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi tanszék; dunai.pal@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Dudás Zoltán egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi tanszék; dudasz.zoltan@uni-nke.hu

A klasszikus ipari forradalom előtti időszakban az ember, mint a legfőbb termelőerő a terméket elsősorban izomerejének segítségével állította elő. Az anyag megmunkálásához, az egyszerű szerszámok használatához ügyességre volt szüksége. A tudományos-technikai forradalom hatására a termelés fokozatosan automatikus, önszabályzó folyamattá alakul át. Az ember a termelésben nem izomzatának erejével, hanem érzékszerveinek, idegrendszerének fokozottabb igénybevételével vesz részt. „Statisztikai kimutatások szerint a múlt század közepén még az összenergia több mint 90 %-át emberi és állati erővel nyerték, ma pedig csupán 1 %-ról beszélhetünk, de ez is erősen csökkenő tendenciát mutat.[1] Hasonló eredményeket kapunk, ha a nem közvetlen harcérintkezésben tevékenykedő katona mozgás struktúráját és energia felhasználását elemezzük. Ebből eredően alapvető társadalmi és honvédelmi igény, hogy olyan szellemileg és fizikailag művelt, edzett embert neveljünk, aki a megváltozott világunkban, a „rohanó életben” jól tájékozódik, aki a ránk zúduló információáradatból optimális pszichikai feszültségállapot mellett célszerűen szelektál, gyorsan dönt és hatékonyan cselekszik. Ez a cél az általános értelemben vett kulturális és oktatási problémákon túl testnevelési és fizikai felkészítési feladatot is jelent. Megoldásához a fizikai felkészítés, testnevelés és sport sajátos eszközeivel, elsősorban az ügyességet fokozott mértékben fejlesztő mozgásokkal járulhatunk hozzá.

Kifejezetten ezek közé soroljuk a különböző szinten és formában üzött játékokat és páros küzdelmeket, melyek valószínűségi (sztochasztikus) feladathelyzeteikkel állandó pszichomotorikus adaptációra kényszerítenek. Ezek során megszerezhető cselekvési tapasztalatok növekvő mértékben teszik lehetővé szokatlan, váratlan helyzetekben is a célszerű cselekvések megvalósítását. Más szóval az ezen tevékenység során fejlesztett tájékozódó jellegű (perceptuomotoros) ügyesség az ember hatékonyabb pszichomotorikus cselekvőképességének lehetőségét növeli meg, ami megfelel a korábbiakban jelzett társadalmi és honvédségi elvárásoknak.

## AZ ÜGYESSÉG MEGJELENÉSI FORMÁI

A szakirodalom az ügyességet „összetett”, „bonyolult”, „komplex”, „idegrendszeri” jelzőkkel illeti. Ahogy arra korábban már utaltam a képesség összetettsége és bonyolultsága okozza, hogy a motoros képességek vonatkozásában a legszegényesebb az irodalma. E hiányosság talán azzal is magyarázható, hogy amíg a többi motoros képesség könnyen mérhető és kifejezhető a CGS (cm, gramm, sec) rendszerben, addig az ügyesség mérése összetettebb feladat és az ügyességi teljesítmények megítélése a mérés helyett többnyire szubjektív becslésre korlátozódik (pl. torna, műugrás, trampolín, birkózás). Így ennek a képességnek a vonatkozásában az integratív törekvésekhez viszonylag kevés objektív tényező áll rendelkezésre, ami feltétlenül megnehezíti a rendszerező munkáját. Fokozza még a nehézségeket az is, hogy a mindennapi nyelvhasználatban az ügyesség fogalma igen tág. Egyes embernek tartják azt, aki éppen-abbán – például az üzleti életben, szakmájában – sikereket ér el [2]. Az ügyességnek ez az általános, mindennapi értelmezése magába foglalja e képesség két alapvető megjelenési formáját: a szociális ügyességet és a mozgás (motoros) ügyességet. A szociális ügyesség elemzése nem célja ennek a cikknek.

## A mozgásügyesség

A mozgásügyesség vizsgálatok általános jellemzőit kell keresni két szempont figyelembevételével:

- az elméleti vizsgálat fő feladta az általánosítás és a közös lényegjegyek kiemelése a felkészítés egyes viszonylag jól körülhatárolható területein;
- ismereteim szerint a rendelkezésre álló szakanyag elsősorban a mozgásügyesség általános vonatkozásainak rendszerezését teszi lehetővé, a speciális ügyesség elméleti és oktatás-módszertani kérdései még a legtöbb területen kidolgozásra várnak.

„Amíg a szociális ügyesség lényegét elsősorban az emberi relációban kialakított adekvát magatartásformák, célszerű interperszonális kapcsolatok képezik, addig a mozgásügyesség színvonalát, a mozgásos tevékenység pszicho-motoros funkcióinak minősége határozza meg.” [3]

Az ügyességi megnyilvánulásokat alapvetően szenzomotoros teljesítménynek foghatunk fel. A képességben a motoros elem hangsúlyosabban van jelen. Ezzel magyarázható az angolszász irodalomban használatos „motor skill” vagy „motor skill performance” terminus technikus. A fogalom meghatározásának számos definícióját ismerjük. Nádori László az ügyesség fogalmának meghatározásakor a következő főbb jellemzőt emeli ki:

- a mozgások pontossága, koordináltsága;
- gazdaságosság;
- gyors elsajátítása;
- a korrekció hatékonysága;
- magas szintű választási és anticipációs készség.

A mozgásügyesség lényegét a következőképpen határozza meg: „Az ügyességben két egymással összefüggő alapvető törekvés ismerhető fel. Egyik a mozgások elsajátításában mutatkozó eredményesség, a másik a rendelkezésre álló mozgásrepertoár sikeres felhasználási készsége adott helyzetekben.” [4]

## Speciális mozgásügyesség

A mozgásügyesség általános értelmezésén túl, mely az ember mindennapos feladatainak sikeres végrehajtását biztosító tényezők meglétére utal, jogos igény, hogy mindenki elsősorban annak a speciális feladatrendszernek a végrehajtása során produkáljon célszerű, gazdaságos magatartást, melyben tevékenységét értékelik, melytől legtöbbször valamilyen formában egzisztenciája is függ. Más és más jellegű mozgásügyességet követelnek meg például a különböző haderőnemekre, fegyvernemekre jellemző katonai szakmai tevékenységi formák. Ügyességi feladat szempontjából nem azonosíthatóak ezek a tevékenységi formák. Különösen fontos ez olyan speciális területen, mint a katonai repülés és a robotrepülőgépeket irányító operátorok munkája. Ezek a sajátosságoknak a figyelembevételével született meg a lokomotorikus, manipulációs és kombattáns (küzdő) mozgásügyesség fogalma.

A különböző haderőnemekre, fegyvernemekre jellemző feladatai többek között abban különböznek, hogy a szabályzatokban rögzített szabályok szerint különböző mozgáskoordinációs és a speciális ingerkonstellációnak megfelelően különböző alkalmazkodási követelményeknek kell eleget tenniük. Mindezek alapján azt a következtetést

lehet levonni, hogy a mozgásügyesség egy bizonyos fokára bárki szert tehet, aki megfelelő adottságokkal rendelkezik, és aki korai életévekben kellő mértékű és szakirányú mozgásingerrel találkozott. A speciális tevékenységi formákban viszont csak az lehet ügyes, aki az adott tevékenység ismeretanyagát alkalmazható szinten birtokolja.

## A MOZGÁSÜGYESSÉG SZERKEZETE

Annak ellenére, hogy az eddigiekben a mozgásügyesség speciális jellegének kiemelésére törekedtem, szükséges azokat a lényegi jegyeket összefoglalni, melyek alapján különbséget lehet tenni az ügyes és ügyetlen teljesítmény között. Ezeknek a jellemzőknek a segítségével megállapítható az egyén mozgásügyességének a színvonala, mely a tevékenységek többségében teljesítményt meghatározó tényezőként jelentkezik és így egyben szelekciós jelentőségű is. Természetesen a következőkben felsorolt jellemzők a speciális jellegből fakadóan különböző mértékben érvényesülnek mégis ezek a kritériumok együttesen olyan tulajdonságokat, képességeket fejeznek ki, amit ügyességnek nevezhetünk.

1. a kitűzött cél elérése;
2. fiziológiai gazdaságosság;
3. optimális időkihasználás;
4. tökéletes időzítés (tempó);
5. magas fokú mozgáskoordináció;
6. sima, puha, finom mozgás;
7. hatékony korrekciós képesség;
8. adekvát válaszcselekvések;
9. nagyfokú pontosság;
10. kifinomult egyensúlyérzék;
11. figyelemkoncentráció;
12. döntés és anticipáció;
13. magas fokú ritmusérzék;
14. célszerű izomfeszülések.

Ezeket az összetevőket két, viszonylag jól elkülöníthető csoportra oszthatjuk:

- kifejezetten technikai ( a mozgásvégrehajtás módja) jellegűek: 5, 6, 9, 10;
- kifejezetten taktikai jellegűek: 4, 8, 12.

Ennek megfelelően a nemzetközi szakirodalommal azonos módon a mozgásügyesség két fő kategóriáját különböztetjük meg:

- technikai jellegű mozgásügyesség (simple-motor skill);
- taktikai jellegű mozgásügyesség (perceptual-motor skill).

természetesen a felsorolt összetevők még kiegészíthetők, átfedések találhatók közöttük, de így is egyértelműen utalnak a differenciált tartalomra.

Amennyiben elfogadjuk a katonai tevékenységen belül jelentkező mozgásügyesség két fő kritériumaként:

- az új mozgások megtanulásának eredményességét és

- a megtanult mozgások alkalmazásának célszerűségét úgy egyértelművé válik, hogy az ügyességi teljesítmények létrejöttében az idegrendszeri és pszichikus funkciók dominanciája áll fenn.

Az új mozgások elsajátítása során a komplex receptor-tevékenységen túl (látás, izomérzékelés, hallás, tapintás, egyensúlyérzékelés), mely szintén idegrendszeri tevékenység, a fő szerepet a feltételes reflexkapcsolatok (dinamikus sztereotípiák) kialakulása képezi. Mozdásaink szabályozása, a tanultsági szintnek és az adott helyzetnek megfelelően, az idegrendszer különböző szintjeiről az autoregulációs elvek szerint történik. A korábban elsajátított mozgások alkalmazása során fontos szerephez jutnak az idegrendszer tevékenységéhez kötött és az adekvát alkalmazkodást biztosító szenzoros, perceptuális és kognitív folyamatok, melyek keretében valósul meg az információ felvétel, feldolgozás és a döntés. Más szervrendszereink, pl.: az izomrendszer, szív, tüdő keringési rendszer funkciói az ügyességi teljesítménynek nem a lényegét, hanem létrejöttének fontos feltételeit jelentik.

## AZ ÜGYESSÉG FEJLESZTÉSE

A fejlesztés célja:

- az érzékelési, megismerési, emlékező és pszichomotoros működés fejlesztése;
- az alapvető mozgásszabályozó képességek tökéletesítése;
- az alapvető mozgáskészségek kialakításával sokrétű mozgástapasztalat megszerzése;
- speciális katonai-szakmai és kondicionális képességfejlesztő technikák elsajátításának, alkalmazásának előkészítése.

A fejlesztés lehetséges eszközei:

- gyorskoordinációs képességek fejlesztése;
- egyensúlygyakorlatok;
- mozgásátállítódás;
- térbeni tájékozódó képesség fejlesztése;
- kinesztétikus differenciálás;
- reagáló képesség;
- ritmusérzék.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” kutatási program humán aspektusát vizsgáló alprogram egyik kiemelt kutatási területe az UAV kezelő személyzetek tevékenysége. A kutatási program egyik fontos területe a kiválasztási és felkészítési rendszer fejlesztésére tett észrevételek kidolgozása. Ennek a kutatómunkának fontos része a képesség vizsgálati rendszer kialakítása és a lefolytatandó kísérletek és statisztikai adatelemzések eredményeképpen olyan javaslatok kidolgozása, melyek alkalmazásával növekedhet a képzésbe bevonni szándékozott személyek egzaktabb kiválasztási rendszerének hatékonysága, annak prediktív validitása és ennek eredményeképpen megtörténhet kiképzési és felkészítési rendszerük további fejlesztése, tökéletesítése. A cikkben leírt elméleti ismeretanyag a

kidolgozás alatt álló vizsgálati protokollok összeállításának szakmai alapját képezik, így a kérdéssel mélyebben foglalkozók szakmai érdeklődésére tarthat számot.

*A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.*

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] TAKÁCS Ferenc: A tudományos-technikai forradalom és néhány konkrét hatása az iskolai testnevelésre a testnevelés tanítása, 1972/6. 184. p.
- [2] HEPP Ferenc: A mozgásérzékelés kísérleti vizsgálata sportolókon Akadémiai Kiadó, Budapest, 1973. 86-89p.
- [3] ISTVÁNFI Csaba: Gondolatok az ügyesség elméletéhez Testneveléstudomány 1975/3-4. Sportpropaganda Kiadó Budapest, 8. p.
- [4] NÁDORI László: Edzésmélete és módszertana Magyar Testnevelési Egyetem Budapest, 1991.
- [5] BAKOS Ferenc. (1989): Idegen szavak és kifejezések szótára. Akadémiai Kiadó. Budapest. 955 p.
- [6] BAUR, J.-BÖS, K.-SINGER, R: Motorische Entwicklung. Ein Handbuch. Verlag Hofmann. Schorndorf. 1994. 421 p.
- [7] BERNSTEIN, N. A.: O postroenii dvizsenij. Fizkultura i Sport Moszkva 1947.
- [8] HEPP Ferenc : A mozgásérzékelés kísérleti vizsgálata. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1973.
- [9] JENSEN, J. L.-PHILLIPS, S. J.-CLARK, J. E.: For Young Jumpers Differences Are in the Mouvement's Control Not Its Coordination. Research Quarterly for Exercise and Sport, 1994/3. p.258-268.
- [10] KNAPP, B.: A mozgástanulás alapkérdései. MTS OT. Budapest.1968. 192 p.
- [11] KNEBEL, K-P.: Funktiongymnastik. Rowohlt Taschenbuch Verlag. Reinbeck bei Hamburg 1985. 206 p.
- [12] KOLTAI Jenő-NÁDORI László: Ügyesség (koordinációs képességek). In: Sportképességek edzése. Sport. Budapest, 1983. p.139-156.
- [13] NAZAROW, V. (1974): Zavisimost'urovnja razvityija kinestesii i sportivno-technicseszkich pokazatelej junyh sportsmenov. Moskva. Sektion 9, 1974. p 48-50.
- [14] NÁDORI László: Újabb szempontok az ügyesség fejlesztésében. TF Tudományos közlemények, 1970/1. p. 289-304.
- [15] NÁDORI László: Az érzékszervek szerepe a mozgáskoordinációs folyamatokban. In: Lissák K.-Nemessúry M. (szerk.): Az emberi mozgás automatikája. TTT. Budapest, 1972. p. 103-133.
- [16] NÁDORI László: A mozgáskoordináció információforrásai. TF Tudományos közlemények, 1972. 2/3. p.53- 64.



Dr. Dudás Zoltán<sup>1</sup> – Fábíán Anikó<sup>2</sup>

## REPÜLÉSBIZTONSÁGI IRÁNYÍTÁSI RENDSZEREK<sup>3</sup>

*A kockázat és annak kezelése jelen van a mindennapjainkban. Ennek megfelelően a repülésben is megtalálhatjuk, ám ennek a kockázatnak a kezelése az előbbivel ellentétben rendkívül komplex tevékenység. A szerzők specifikusan veszik górcső alá a repülésbiztonsági kockázatkezelést. A nagyobb légitársasági szervezetek és például a NATO is működtet irányítási rendszereket, amelyeket összehasonlítása történik meg és a szerzők rámutatnak a fellelt hiányosságokra, az esetleges hibákra, illetőleg javaslatot tesznek a megvizsgált rendszerek célszerű alkalmazására. A vizsgált három rendszer az ICAO SMS rendszere, a NATO STANAG 7160 FS egyezménye által leírt rendszer, és a EUROCONTROL SAM módszere. A szerzők megkísérlik bemutatni a fent tárgyalt repülésbiztonság értékelési megközelítések közti különbségeket.*

### AIR TRAFFIC SAFETY SYSTEMS

*The risk and its management are present in our everyday activities. Accordingly shows its face in aviation but its treatment is an extremely complex activity. We studied the safety risk management through the point of view of air traffic controller. The aviation organizations and NATO is also deal with the safety management systems which we compared and pointed out the deficiencies, additionally we will propose which would be worthwhile to apply in military aviation as well. There are three systems: ICAO's SMS, NATO's STANAG 7160FS, and EUROCONTROL's SAM. The authors attempt to point out the main differences among the above described safety assessment approaches.*

Minden nemzet, amely haderőt tart fenn, ügyel arra, hogy megóvja azt, mivel a katonáskodás igen költséges. Nem titok, hogy a katonai repülés, - a drága haditechnikai eszközök és a kiképzés költségessége miatt - a méregdrága kategóriába sorolható, a számok határa akár a csillagos ég. Ahogyan a légierő eszközparkjának beszerzése, úgy a biztonsági prevenció, a szakemberek képzése, a biztonsági rendszerek bevezetése és működtetése is pénzbe kerül, meg kell fizetni. A biztonság garantálása komplex feladat, többféle mód létezik rá. Repülés közben a parancsnok feladata ezekből a metodikákból a legkézenfekvőbbet - a másodperc töredéke alatt - kiválasztani. A katonai repülés integrálása a polgári légitársaságokéba nem egyszerű, meg kell vívni a „csatákat”. Igyekeznünk kell valamilyen szinten ugyanazon szabályokat, biztonsági szempontokat követni, hogy megférjenek egymással.

A konferenciára íródott cikkem elsődleges célja összehasonlítani a NATO és az ICAO repülésbiztonsági rendszerét, rámutatni a hiányosságokra, ajánlást, javaslatot tenni egy szilárdabb módszerre, amely Magyarországon még nem került be a köztudatba. Tulajdonképpen az ICAO, a NATO és a EUROCONTROL biztonságkezelési stratégiáiról esik szó.

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, dudas.zoltan@uni-nke.hu

<sup>2</sup> honvéd tisztjelölt, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, Légiközlekedési szakirány, Repülésirányító specializáció, Légiforgalmi irányító modul, ani888@freemail.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Palik Máttyás, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu



## SMS ICAO BIZTONSÁGKEZELÉSI RENDSZERE (SAFETY MANAGEMENT SYSTEM)

Mi is az SMS? „A biztonság szisztematikus kezelése, beleértve a szükséges szervezeti struktúrákat, a felelősséget, a politikát és az eljárásokat.”<sup>4</sup> Így szól a definíció, mely szerint a szolgáltatóknak vállalniuk kell a felelősséget az SMS létrehozásáról és az elfogadásáról. Egy elfogadott biztonsági irányítási rendszernek egyértelműen meg kell határoznia a biztonsági felelősség vonalát az egész (légitársaság, a karbantartás, az ATS szolgáltató, a minősített repülőtér) szervezetet illetően, beleértve a felső vezetést is. A felelősségi vonalon túl meg kell határozni a végrehajtás rendjét, hogy követhető legyen a felügyeleti szervek számára is. Az ICAO kidolgozott az SMS végrehajtásáról szóló intézkedést, javaslatot is, hogy megkönnyítsék a légitársaságok helyzetét.

„A biztonság olyan állapot, melyben a személyi sérülés és/vagy az anyagi kár kockázata elfogadható szintre csökkentett és stabilizált, a veszélyek folyamatos kutatása, felderítése, azonosítása, valamint a folyamatos kockázat-kezelés eredményeképp a legszükségesebb.”<sup>5</sup>

A felügyeleti szerveknek úgy kell előremozdítaniuk a magas szintű biztonsági irányítást - amellett, hogy alapvető üzleti funkciókat is folytatnak - hogy egy bizonyos biztonsági szintet határozzanak meg a teljesítmény függvényében, amelyeket a légiközlekedési szolgáltatóknak el kell érniük. Tulajdonképpen a biztonság „mértékegysége” az elfogadható biztonsági szint, amelyre referenciaként is tekinthetünk. A rendszer elvárja, a biztonsági program részeként, hogy (az üzemeltető, karbantartó szervezet, ATS szolgáltató, minősített repülőtér) megvalósítsanak egy biztonsági irányítási rendszert, amely azonosítja a biztonsági veszélyeket, a korrekciós intézkedések biztosítják az elfogadható biztonsági szint fenntartását, folyamatos megfigyelést és rendszeres értékelést nyújt, illetve célja a folyamatos javítás a biztonsági szint érdekében. A gyakorlatban két intézkedés vagy mutató fejezi ki az elfogadható biztonsági szint elvét:

- a biztonsági teljesítménymutatók;
- és a biztonsági teljesítményi célok.

Ez a biztonsági követelményeknek úgy felel meg, mint a segédeszközök és az erőforrások. Ezeket a biztonsági követelményeket teljesíteni kell a működési eljárások, a technológiák és rendszerek, a programok és rendkívüli intézkedések alapján. A biztonság elfogadható szintje biztonsági teljesítményszinteket és biztonsági teljesítménycélokat fogalmaz meg, tehát sohasem számol egyetlen fogalommal. Ritkán lesz a biztonsági szint egyes vagy nemzeti. Leggyakrabban a felügyelet más biztonsági szintet különböztet meg egy állam és az egyes piaci szereplők/szolgáltatók között. Minden elfogadott vagy elfogadható biztonsági szintet össze kell mérni a következőkkel: az üzemeltető vagy szolgáltató üzemi körülmények közötti bizonytalanságával és az üzemeltető vagy szolgáltató anyagi forrásai rendelkezésre állásával.

Előzékenyen kezelve az ICAO előírásokat, különösen azokat, amelyek az SMS-sel kapcsolatosak, kulcsfontosságúak. Sok ilyen rendelet létezik és ICAO előírás, amelyek tartalmazzák a működési intézkedéseket, amelynek a részévé fog válni az SMS. De ahhoz, hogy egyáltalán értelmezhesük ezt a biztonságkezelő rendszert, tisztába kell tenni néhány alapvető kérdést.

<sup>4</sup>SMS-Safety Management System Course Material

<sup>5</sup> ICAO DOC 9859



Először is, a szervezet legtöbb tevékenysége körülveszi az SMS-t. A rendszer bevezetését a felső vezetésnek kell kezdeményeznie, de figyelembe kell venni a biztonságot minden szinten. Az SMS célja, hogy a biztonsági szint folyamatosan javuljon, így minden repülésben részt vevőnek szerepet kell játszania benne, és tanulni kell minden egyes repülésből. Így az intézkedés kiter a repülésben részt vevők definiálására is.

A repülésben részt vevők az alábbiak:

- repülési szakemberek;
- repülőgép tulajdonosok és üzemeltetők;
- a gyártók;
- a repülést szabályozó hatóságok;
- ipari kereskedelmi szövetségek;
- regionális légiforgalmi szolgáltatók;
- szakmai szervezetek és szövetségek;
- a nemzetközi légitársasági szervezetek;
- a vizsgálati szervek;
- és a „repülő” (utazó) közönség.

Miért is volt fontos, hogy azonosítsuk a légitársaságokban érdekeltet? Ez annak érdekében szükséges, hogy az érdekelt befektetett energiáját és releváns tudását is figyelembe vegyék egy biztonsági kockázatot illetően, vagy meghatározzák a szolgáltatásokat mielőtt döntés születik.

Az SMS szolgáltatásait három csoportba sorolhatjuk:

- Szisztematikus – A biztonságkezelési tevékenységeknek megfelelően egy előre meghatározott terv és alkalmazott módszer a szervezeten keresztül.
- Proaktív – Egyfajta megközelítés, amely hangsúlyozza a veszély azonosítását és a kockázat kezelését és enyhítését, mielőtt az események hatással vannak a biztonságra.
- Explicit (Nyílt) – Minden biztonsági irányítási tevékenység dokumentált és látható.

A biztonsági program a rendeletek (szabályok) és a tevékenységek integrálásán alapszik, melynek célja a biztonság javítása és a biztonsági program fejlesztése, amely négy összetevőből áll: a biztonságpolitika és célkitűzések, a biztonsági kockázatkezelés, a biztonsági biztosíték, és a biztonság elősegítése.

Az SMS építő kövei olyan biztonságkultúrát eredményeznek, amelynek része a biztonság kulcskérdésként kezelése, a kommunikáció, amelyeknek a következő alapvető elemeket kell tartalmazniuk:

- a vezetés elkötelezettsége;
- jelentési rendszer;
- folyamatos monitoring, adatgyűjtés elemzés;
- kivizsgálás (elfogulatlan, nem büntető jellegű);
- a megismert hiányosságok, lehetséges veszélyforrások megismerttetése;
- biztonsági képzés integrálása a képzési rendszerbe;
- SOP bevezetése;
- biztonság folyamatos fejlesztése.

Ezek az építő kövek elengedhetetlen fontosságúak egy biztonságkezelési rendszer megfelelő működéséhez, amely okokat keres. A szankcionálás alapvetően nem érdeke, hanem inkább az esetből való tanulás. Ha nincsenek építő kövek, akkor koránt sem olyan hatékony egy ilyen rendszer, melynek lényege a folyamatos visszacsatolás, a dokumentáció, hogy nyomon tudjuk követni akár az egyes évek alapján, hogy a bevezetett eljárás mennyire volt hatásos, mennyire javította a biztonságot. Az sem utolsó szempont, hogy egy ilyen rendszerben létrehozott szabályok, eljárások alkotta struktúrában effektíven részt vevők (légijármű-vezetők, repülésirányítók) még „kényelmesen” tudjanak dolgozni, ne érezzék magukat teljesen „megbilincselve”.

A Safety Management System egy olyan rendszer, amely elősegíti a biztonság kezelését, illetve a kockázat minél kisebbre csökkentését. Javaslatokat, sémákat nyújt a bevezető szervezetek számára, hogy egységes legyen a kivizsgálás szempontjából. Kijelenthetjük, hogy a hátunk mögött hagyott légiközlekedési éveket még kielégítette ennek bevezetése és használata, ám az ipar és a technológia robbanásszerű fejlődése a repülést több ízben érinti, így újfajta veszélyekkel kerülhetünk szembe a biztonságot illetően. Az előzőekben láthattuk a polgári repülésbiztonsági irányítási rendszer jelenleg elterjedt és használt rendszerét. A következő részben vegyük górcső alá a NATO szabályozási rendszert, mi is érvényes a katonákra!

## A NATO REPÜLSBIZTONSÁGI RENDSZERE (STANAG 7160 FS)<sup>6</sup>

A STANAG 7160 FS egy alapdokumentum, mely alapján elkészült az AFSP-1. Az AFSP-1 – Repülésbiztonság – egy NATO NYÍLT dokumentum. A nemzetek eme dokumentum használatáról szóló megegyezését a STANAG 7160 tartalmazza. A dokumentum szerint, a repülőgéppel kapcsolatos balesetek jelentős hatással vannak a repülőgépekre és a repülőszemélyzetre. Ezek mind olyan alapvető erőforrások, melyeken egy nemzet biztonsága alapszik.

A repülő fegyvernem feladatai közé tartozik a személyzet kiképzése és a 4. generációs repülőgépek beszerzése. Azonban a katonai repülés hatványozottan magában hordozza a kockázatot, így ki kell alakítani az egyensúlyt a biztonság és a feladat végrehajtásánál figyelembe vett rizikó között. A megfelelő egyensúly vagy rizikóküszöb eltalálása nagyban a parancsnok döntése, melynek célja a sikeres feladat végrehajtása a megfelelően kezelt kockázattal. A NATO szervezetén és a kötelezettségvállalásokon belül azonban megjelenik az interoperabilitás kérdése, ahol egy kitelepülés során egy nemzet egy másikkal működik együtt, közösen végeznek például hadgyakorlatot. Hacsak nincsenek az eljárások hasonlóan kidolgozva, fennáll a félreértések, események, erőforrások elhasználódása, és végeredményben a feladat sikerének csökkenése. Ez vonatkozik a repülésbiztonságra is. Ezen okból ez a dokumentum azon repülésbiztonsági elveket tartalmazza, melyek minden repülőfegyverzetre és területre vonatkoznak bármilyen környezetben. A repülésbiztonság alapelvét a veszteségek és a repülési eseményekkel kapcsolatos sérülések csökkentése jelenti. Azonban a megelőzést nem lehet izoláltan megoldani; a parancsnok feladata a fontossági sorrend felállítása, amely igen szubjektív és komplex feladat. Háborúban, krízis időszakban és Békétámogató Hadműveletekben a feladat végrehajtása a legfontosabb, így nagyobb mértékű kockázat vállalása válik szükségessé, ha azt a helyzet úgy kívánja.

---

<sup>6</sup> NATO STANAG 7160FS

Békében a szükségtelenül nagymértékű kockázat kiszűrése a legfontosabb a kiképzés és a feladat végrehajtásának függvényében. Ilyen módon a parancsnoknak folyamatosan igazítania kell a kockázati faktort a repülésbiztonság és a feladat-végrehajtási tényezők figyelembe vételével, illetve ismernie kell a veszélyeket. A kockázatok mérlegelése kritikus pont a parancsnok döntéshozatali folyamatában. Mind a valós és a lehetséges kockázatok felismerhetők és szabályozhatók minden parancsnoki szinten vagy a repülési műveletek bármely szakaszában, és beosztástól és felelősségtől függetlenül minden személyre vonatkozik, hogy a kockázatok felismerése és kezelése minden esetben szükséges és elsődleges. A repülésbiztonsági részleg feladata a szakértői tanácsok és útmutatások adása, melyek segítik a parancsnokot, hogy teljes hatékonysággal elláthassák feladatukat és felelősséget vállalhassanak a döntéseikért. Ilyen módon a valóságban a repülésbiztonság és a feladat végrehajtása hasonló fontosságú, de a kompromisszumok meghozatalának felelőssége parancsnoki jogkörre korlátozódik. A dokumentum célja repülésbiztonsági törvények, alapelvek és eljárások felsorolása – különös tekintettel a prevencióra –, melyeket aztán minden résztvevő nemzet és bármilyen szintű parancsnok vagy személy a feladataik végrehajtása során használhat. Ez a dokumentum egy alappreferencia minden repülésbiztonsági területben érintett személynél, mind az események megelőzése – a fejlesztéstől, az anyaggyártástól és vizsgálatától kezdve az eljárásokon át – mind azok utóhatása területén, amely az eset okának meghatározása és az eset megismétlődése elleni rendelkezések kivitelezése. A legtöbb nemzet rendelkezik saját repülésbiztonsági dokumentumokkal és szabályokkal, amelyeket az itt felsorolt törvények, alapelvek és eljárások megerősítéseként kell alkalmazni, összhangban a nemzeti előírásokkal. A repülésbiztonság célja minden repülő alakulat műveleti hatékonyságának növelése minden olyan kockázat csökkentésével, melyek repülési eseményhez vezethetnek, valamint célja még ezen események hatásának csökkentése.

Megfelelő alkalmazás esetén a repülésbiztonság a légi műveletek erőfőlényét növeli az erőforrások veszteségének csökkentése révén úgy, hogy felismeri és megoldja a lehetséges repülésbiztonsági gondokat mielőtt azok negatív hatással lehetnének a műveleti hatékonyságra. Ahol megoldás nem található, a kockázatról a parancsnokot tájékoztatni kell, hogy a megfelelő döntést meghozhassa. Ennek a módszernek az a legnagyobb hiányossága, hogy rendkívül általános, nem tér ki az egyes szakember felelősségére, csupán a parancsnoki döntéshozatal elősegítését és fontosságát forszírozza. Továbbá, nem tér ki a polgári légiközlekedési szervezetekkel való együttműködés fontosságára.

## SAM – EUROCONTROL BIZTONSÁGÉRTÉKELÉSI MÓDSZER (SAFETY ASSESSMENT METHODOLOGY)

A EUROCONTROL égisze alatt fejlesztették ki a Biztonságértékelési Módszert (SAM), az ECAC tagok és a légiközlekedési szolgáltatók (Air Navigation Service Providers) közreműködésével. Ez egy igen új-keletű rendszer szerte Európában. Magyarországra rendkívül korlátozott mennyiségben és módon jutott el, jelenlegi információim szerint még nem vették használatba. A légiközlekedési szolgáltatók Biztonsági Értékelésére a SAM mutatja a legjobb gyakorlatot, amely tükrözi a rendszer előnyeit, sőt útmutatást is biztosít az elvek alkalmazásához.

A rendszer bemutat, leír egy általános folyamatot a Biztonsági Értékelés „körforgásán” keresztül. Ezt az elméletet széles körben fogadták el.

A SAM módszer „működtetése” során három folyamat ismert. Az FHA (Functional Hazard Assessment), a PSSA (Preliminary Safety System Assessment), és az SSA (System Safety Assessment) alkalmazandó egy-egy vizsgálat során, amely három eljárást úgy kell elképzelnünk, mint egy szűrőt.

A teljes rendszer megközelítését (Total System Approach) illetően, számba kell vennünk azokat az elemeket, amelyek hozzájárulhatnak egy-egy ATM eseményhez. A SAM szerint is számolni kell az emberi hibákkal, - pilóták, ATC, karbantartás és műszaki személyzet – de említést kell tenni természetesen az eljárásokról, és a használatos berendezésekről is. A felszerelések megbízhatósága az évek során folyamatosan javult, épp úgy, ahogyan a repülés, mint iparág is fejlődött. Bár azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy ezek a berendezések meghibásodhatnak, üzemén kívül is kerülhetnek, de ezért lehet a humán komponens is a felelős. Manapság az *ember*, mint faktor a legnagyobb kockázati tényező és veszély a repülésre. A repülésbiztonsági szakemberek szerint a katasztrófák kiváltó okai leginkább a vezetési és szervezeti hiányosságok. A biztonság fenntartásához a proaktív és elkötelezett megközelítés tudja minimalizálni a kockázatokat.

Ez az új módszer, ami sok előnnyel kecsegtet, és átláthatóbb folyamatot biztosít a korábbi biztonságkezelési rendszerekhez képest, szintén a humán faktort helyezi a veszélyforrások piroslámpás negyedébe. Erről a „SAM Practicalities” a következő, igen egyszerű, bár rendkívül tanulságos történetet teszi közzé a leírásában:

„Ez a kis történet négy emberről szól, akiket *Mindenkinek*, *Valakinek*, *Bárkinék* és *Senkinek* hívnak. Volt egy fontos munka, amit meg kellett volna csinálni, és *Mindenki* biztos volt abban, hogy *Valaki* megcsinálja.

*Bárki* megcsinálhatta volna, de *Senki* sem tette. *Valaki* mérges lett, mert *Mindenki* feladata volt. *Mindenki* úgy gondolta, hogy *Bárki* megcsinálhatná, de *Senki* sem vette észre, hogy *Mindenki* megcsinálhatta volna. Ez úgy végződött, hogy *Mindenki* hibáztatott *Valakit*, amikor *Senki* sem csinálta meg azt, amit *Bárki* megtehetett volna.”<sup>7</sup>

A történet tanulsága egyértelmű és világos, az emberi könnyelműség és hanyagság. Bátran feltehetnénk a kérdést: az ember veszélyt jelenthet az emberre? A válasz: az elemzések és a kutatások szerint igen. A humán faktor szerepe rendkívül komoly és óriási a repülés témakörét, működését illetően. A következtetésem az, hogy a sorozatos hibák megelőzése nem feltétlenül a szankcionálás durva eszközeivel kell, hogy történjen. Tapasztalatok alapján az ember már akkor is könnyebben vét hibát, ha fél a megtorlástól, az esetleges büntetéstől. Követhető eljárásokra, szabályokra, érthetőbb leírásokra, folyamatos tréningekre van szükség ahhoz, hogy csökkenjen a tévedések, tévesztések száma. Az az európai színvonalú újítás, melyet SAM megjelenése jelent – már egyszerűsége, ugyanakkor szilárdsága miatt is – követendő, bevezetendő biztonságkezelési,- értékelési módszer, mint a korábbiak. Ugyanakkor meg kell jegyezzük, hogy sok mindent átvételre, illetve továbbfejlesztésre került az SMS alapelveiből, elgondolásaiból, tehát egymásra épülő rendszerekről van szó.

<sup>7</sup> Safety Assessment Methodology Course Hand-Book

Ennek ellenére úgy kell tekintenünk rá, mint egy tökéletesített, átláthatóbb, nyomon követhetőbb és egyszerűsített az ATM területen alkalmazhatóbb módszerre. Így a SAM módszert alkalmazása célszerűnek látszik a magyar Légierőben is, mert olyan eljárásokat, folyamatokat kínál az ebben a komplex rendszerben résztvevők számára, amely által egy követendő sémát adna és érthetőbbé válna a kockázatkezelés a katonai repülésben is.

## ÖSSZEGZÉS

A világ nagy repülési szervezetei komolyan elkötelezettek a repülésbiztonság fenntartásáért, melynek elérését praktikus elméletek kidolgozásával és működőképes rendszerek fenntartásával látják elérhetőnek. Ezek a rendszerek és módszerek, mint az SSP-SMS, vagy a SAM korántsem tökéletesek, de ismertek és jogi szabályozáson keresztül kötelezőek is a légiközlekedés szereplőinek egy része számára. A jelenlegi repülésbiztonsági, kockázat meghatározási rendszerek közül az európai SAM az egyetlen, mely szakterület specifikus, mivel kizárólag az ATM terület sajátosságaihoz és igényeihez igazodik. Emellett a légiforgalom irányítás és szervezés teljes rendszerét – technikai és humán tényezőket egyaránt – képes lefedni és a kockázat kialakulása szempontjából vizsgálni. Szakterület specifikus megközelítése és a teljes rendszerre kiterjedő elméleti háttere miatt a katonai légiközlekedés repülésbiztonságának javításához i hozzájárulhat.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Dudás Zoltán alezredes: A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a magyar honvédség légierejében különös tekintettel az emberi tényező formálására-PhD értekezés 2007.- 9-15., 18., 35-38. o.
- [2] Dr. Dudás Zoltán: Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség Repüléstudományi Konferencia Szolnok, 2009.
- [3] Fábrián Anikó: A repülésbiztonság kockázatkezelésének módjai a légiforgalmi irányítás területén, TDK dolgozat, ZMNE 2011. őszi ITDK
- [4] ICAO Safety Management System Course Material Köln, 2008.
- [5] NATO STANAG 7160FS (2. kiadás) – Repülésbiztonság – AFSP-1 NATO Katonai Szabványügyi Hivatal 2006.
- [6] ICAO DOC 9859
- [7] EUROCONTROL Safety Assessment Management (CD-ROM)
- [8] EUROCONTROL Safety Assessment Management (Hand-Book)

Szászi Gábor<sup>1</sup>

## A MALÉV FELSZÁMOLÁSÁNAK VÁRHATÓ HATÁSAI A KATONAI LÉGISZÁLLÍTÁSI FELADATOK VÉGREHAJTÁSÁRA<sup>23</sup>

*A MALÉV 2012. februári megszűnését megelőzően – történelmi adatok alapján – kisebb-nagyobb megszakításokkal mintegy 92 évig létezett Magyarországon nemzeti légitársaság. A légitársaság megszűnése nem csak a polgári légiközlekedésre gyakorol hatást, hanem a Magyar Honvédség szállítási feladatainak végrehajtását is érinti. Különös tekintettel igaz ez a jelenlegi helyzetben, amikor katonáink az országtól több ezer kilométer távolságban hajtják végre missziós feladatokat. Az ő biztonságuk – értendő most ez alatt az ellátás-szállítás biztonság – egyik garanciája a megfelelő mobilitási képesség rendelkezésre állása, ami a Malév megszűnésével bizonyos mértékben csorbult. A kérdés az, hogy szükséges-e egyáltalán egy nemzeti légitársaságra alapozni a védelmi célú katonai szállításokat, vagy ennek jelentősége a jelenlegi piaci viszonyok között eltörlődik. Tanulmányomban erre keresem a választ.*

### **PROBABLE EFFECTS OF THE TERMINATION OF MALÉV TO MILITARY AIR TRANSPORTATION**

*Before the termination of MALÉV dd 2012 feb – based on historical facts – National Airline has been existed for 92 years in Hungary. This termination effects not only on commercial air transportation, but on transportation carried out by Hungarian Defence Forces also. Its importance is highlighted even in certain situation, when Hungarian Troops serve in mission abroad some thousands kms from the country. One of the guaranties of their security is the availability of Air Mobility Capacity (supply, transportation security), which degraded by the termination of MALÉV. The question is. Whether is it necessary to assign Military Transportation to a National Airline, or its importance is dwarfed by the Market. I try to find the answer in this essay.*

## BEVEZETÉS

A Budapest Airport február 03-án, péntek hajnalban elhelyezett a honlapján egy figyelmeztetést, hogy csak azok a Malév-utasok menjenek ki a reptérre, akik biztosak abban, hogy a gépük elindul. Ezt követően a hivatalos tájékoztató is megjelent, miszerint a „A Malév minden járatát törölte a mai nap (2012.02.03) hajnali 6 órától. Kérjük utazását illetően vegye fel a kapcsolatot a Malév ügyfélszolgálatával, ahol bővebb információt adnak, hogyan utazhatnak el célállomásukra, illetve milyen lehetőségeik vannak a kártalanításra”.

Ez a mondat nem csak az adott napon utazni szándékozók részére jelentette a MALÉV-vel történő repülés végét, hanem lezárását is egy 1946-tól datálódó történetnek. A hír sokakat váratlanul ért, de a szakmai berkekben járatosak tisztában voltak vele, hogy az önálló magyar

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető és Logisztikai Intézet, szaszi.gabor@uni-nke.hu

<sup>2</sup> cikket lektorálta: Dr. Tóth Bálint ny. okl. mk. ezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Logisztikai Tanszék, toth.balint@uni-nke.hu

<sup>3</sup> A cikk a TÁMOP-4.2.1/B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” projekt, 4. Alprogram "civil katonai kapcsolatok" alprogram "közlekedési kritikus infrastruktúra védelme" kiemelt kutatási terület támogatásával készült

légiközlekedés ezen mozzanata elkerülhetetlen. Bizonyítékul szolgálhat a Malév Zrt. 2006-2010 közötti mérleg szerinti eredménye (1. számú ábra). A jelenlegi gazdasági környezetben egy évente mintegy 25 milliárd forint veszteséget termelő vállalkozás piaci helyzetét stabilnak tekinteni irreális dolog.

A címben megfogalmazott aspektusból vizsgálva az eseményt, a továbbiakban nem foglalkozom a csödhöz vezető okokkal, csakis arra keresem a választ, hogy a katonai légiszállítási igények maradéktalan kielégítését milyen mértékben befolyásolhatja a Malév csődje, szükséges-e bármilyen azonnali reagálás a Magyar Honvédség mobilitási képességének megőrzése érdekében.



1. ábra A Malév Zrt. mérleg szerinti eredménye, 2006-2010<sup>4</sup>

## 1. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Mielőtt a katonai szempontú elemzésre rátérnék, röviden be kívánom mutatni azokat a meghatározó eseményeket, melyek fémjelzték a Malév megalakulásához vezető utat, illetve működésének legfontosabb állomásait.

A magyar repülés története Rákosmezőn 1909 végén kezdődött, amikor Adorján János 1910. január 10-én az első hazai konstrukciójú repülőgéppel felszállt, amelyben egy szintén budapesti gyártmányú, 25 LE-s Dedics motor volt. A haza repülőmérnöki szakma további eredményeként Zsélyi Aladár és Melczér Tibor 1912-ben 34 utas szállítására képes repülőgép tervét készítették el.

A légiközlekedés katonai jelentősége már ebben a korszakban is nyomon követhető. Az első világháború a hadvezetés figyelmét egyre inkább a repülés felé fordították. 1913-ban Buda-

<sup>4</sup> Forrás: <http://hirek.logportal.hu/a-malev-zrt-merleg-szerinti-eredmenye-2006-2010> (2012.03.12)

pesten megalapították a Magyar Repülőgépgyár Rt-t, melyet a rákövetkező évben a mai Hungária krt. és Váci út sarkáról áttelepítettek Albertfalvára, ahol ez lett az Osztrák-Magyar Monarchia legnagyobb repülőgépgyára. 1914. április 30-án megalapították Aszódón a Magyar Lloyd Repülőgép- és Motorgyárat, így a háború kitörésekor már két repülőgépgyára volt Magyarországnak, melyekhez 1916-ban a Magyar Általános Gépgyár /MÁG/ mátyásföldi repülőgépzeme is csatlakozott. 1918-ban indult meg a menetrendszerű légi posta járat Budapest és Bécs között. Azonban a kezdeti sikereket hamarosan kudarc követte. A háborús vereség, majd a trianoni békeszerződés jelentősen visszavetette a magyar repülést. A megszálló csapatok által még hátrahagyott repülőgépeket, alkatrészeket, gépsorokat és szinte valamennyi repülőteret meg kellett semmisíteni.[1]

Az első világháborút követő repülési tilalom lejárta után, 1922. november 19-én, végre ismét jelentős állami támogatás mellett megalakulhatott a Magyar Légiforgalmi Rt. (ML Rt.). Fokker F-III. típusú gépei 140 km/h maximális sebességgel, 550 km-es hatótávolságon belül öt utast szállíthattak. A járatok Budapestet Béccsel és Belgráddal kötötték össze. A vállalat 1928. októberében újjáalakult, ezt követően jelentős géppark fejlesztés indult meg. Elavult gépeiket új típusúakra cserélték, melynek keretében két egymotoros Fokker F-VII-es, 8 üléses, 420 LE-s és egy kétmotoros F-VIII-as, 15 üléses, 2x420 LE teljesítményű utasszállító repülőgépet vásároltak Hollandiából. A géppark fejlesztése mellett a repülőtéri infrastruktúra terén is előrelépésekre volt szükség.

Az 1930-as évek elején már sürgető igény mutatkozott az elavult Mátyásföldi Repülőtér helyett egy korszerű, új repülőtér építésére, mert a repülőtér már nem volt képes a megnövekedett forgalom ellátására. A probléma megoldására 1937. június 20-án végül Budaörsön nyitották meg a főváros új nemzetközi légikikötőjét. Átadása idején nagyhangárja Európa egyik legnagyobb repülőgép tárolója volt, 12 db Junkers Ju-52 típusú gép befogadására is alkalmas volt.

A második világháborúban ismét a repülés vesztette a legtöbbet a közlekedés terén, vonatkozik ez a személyzetre, a járműparkra és a földi létesítményekre egyaránt. A polgári repülőgép állományt teljes, 100 %-os pusztulás érte, így Magyarországon a háború után ismét szinte teljesen elölről kellett kezdeni a közforgalmú repülés feltételeinek megteremtését.

1946. március 29-én írták alá azt az egyezményt, mellyel létrejött a Malév jogelődje, a Magyar-Szovjet Polgári Légiforgalmi Részvénytársaság, a Maszovlet. Az alapítólevél értelmében a légitársaság jogosult lett a légi közlekedés szervezésére, utas-, poggyász-, posta- és áruszállítások lebonyolítására, belföldön és külföldön egyaránt. A magyarok biztosították a szükséges munkaerőt és a repülőtereket, míg a szovjetek adták a repülőgépeket, a tartalék alkatrészeket, az irányítástechnikai berendezéseket és a kiképző személyzetet. A működés beindításához a legfontosabb feltétel adott volt, hiszen a Budaörsi repülőtér viszonylag épségben vészelte át a háborús eseményeket. A Maszovlet által felvett, mintegy 200 fős szakembergárda fele korábban a Malert alkalmazottja volt. [2]

Fontos változást hozott a Maszovlet életében a Ferihegyi repülőtér 1950. május 7-i megnyitása. Budapest új, nemzetközi légikikötőjének tervei 1939-ben készültek el, s még ugyanabban az évben megkezdődtek a kivitelezési munkálatok is.

A szovjet és magyar kormány tárgyalásai nyomán 1954. november 25-én felszámolták a Ma-





gyar-Szovjet Polgári Légiforgalmi Rt-t, és megalakult a Magyar Légiforgalmi Vállalat. A MASZOVLET újraindította a magyar légiforgalmat, megteremtette a továbblépés lehetőségét a hazai repülés terén. A MALÉV így megalakulásakor már jelentős technikai bázissal és gyakorlott szakemberekkel rendelkezett. [1]

A 1960-ban a Malév az akkori szocialista országok közül elsőként állította forgalomba az Il-18-as, légszűrős-gázturbinás repülőgépet, mely a korszak meghatározó típusa volt. Gyakorlatilag e gép adottságaira építve fejlődhetett tovább a Malév útvonalhálózata, s nyílhattak meg az első járatok a Közel-Keletre és Észak-Afrikába. 1969-ig menetrend szerinti járatot indított a Malév Londonba, Helsinkibe, Münchenbe, Athénbe, Kairóba, Milánóba, Nicosiába, Damaszkuszba, Kijevbe, Bejrutba és Isztambulba. 1969-ben már 28 ország 33 városába indultak Ferihegyről Malév-gépek. A hatvanas években történik a magyarországi belföldi légi forgalom fokozatos szűkülése, majd megszüntetése is. [3]

A 70-es és 80-as évek még a dinamikus fejlődés éveit a MALÉV számára. Nemzetközi járatainak bővítése egyben azt is jelentette, hogy magyar légtérben és a Ferihegyi nemzetközi repülőtéren is megjelentek a külföldi partner légitársaságok repülőgépei is.

A vállalat 1988. november 18-án kezdte meg a szovjet géppark cseréjét bérelt Boeingekekre. Az első egy Boeing-737-es volt, míg az első nagygép, egy Boeing-767-es 1993. május 10-én állt szolgálatba. 1995 decemberében érkezett az első holland Fokker-70-es repülőgép, amellyel elkezdődött a Tu-134-esek leváltása. Az utolsó Tu-154-est 2001-ben vonták ki a forgalomból. A légitársaság 2003. február 7-én kezdte meg a régi Boeingekek cseréjét az új Boeing-737 NG (Next Generation) típusú gépekre. A géppark korszerűsítése 2005 áprilisára fejeződött be, amikor a Malév átvette a 18.-ik Boeing-737 NG típust.

A géppark korszerűsítése mellett a vállalat tulajdonosi szerkezetében is változások történtek. Az addig kizárólag magyar tulajdonú légitársaságként működő vállalatban 1992. november 12-én tőkeemeléssel 35 százalékos részesedést szerzett az Alitalia olasz nemzeti légitársaság és a Simest olasz bank, de 1997 decemberében az Alitalia Malév-részvényeit magyar bankok visszavásárolták. 1999 és 2007 között az Állami Privatizációs és Vagyonkezelő Rt. volt a Malév 99,5 százalékos többségi tulajdonosa.

Ebben az időszakban kezdődtek meg a működés biztosításához szükséges állami források bevonásai is. A magyar kormány határozata alapján a társaság 2001 áprilisában 3 milliárd forintos tulajdonosi kölcsönt kapott az ÁPV Rt-től. 2001. szeptemberben a kormány úgy döntött, hogy még 2001-ben 9,2 milliárd forintnyi tőkejuttatásban részesíti a Malév Rt-t, s szeptember 24-én az Országgyűlés felhatalmazta a kormányt a készfizetői kezességre, 950 millió amerikai dollár erejéig. Decemberben a Malév rendkívüli közgyűlése a társaság alaptőkéjének négy milliárd, illetve tőketartalékának 5,2 milliárd forinttal történő megemeléséről döntött.

2007-ben a magyar nemzeti légitársaság részvényeinek 99,95 %-át a Magyarországon alapított és bejegyzett Airbritage Zrt. vásárolta meg a magyar államtól. Az AirBridge vállalta, hogy visszafizeti a Malév által felvett 13 milliárd forintnyi projekthiteleket, továbbá, hogy 32 millió eurós bankgaranciát biztosít. Ezen vállalásait az Airbridge 2008 közepéig szerződésszerűen teljesítette is, mikor is Abramovics gazdasági helyzete megrendült, orosz légitársaságai csődbe mentek, a pénzforrás így elapadt.



A légitársaság 2007-től számos költségcsökkentő lépést hajtott végre, 2008-ban bezárta a veszteséget termelő hosszútávú járatait, regionális járatain Q400-as típusú turbópropelleres gépeket állított forgalomba.

A MALÉV 2010 elején visszakerült a magyar állam tulajdonába. Az orosz tulajdonos és a magyar állam megállapodásának értelmében az orosz állami Vnyesekonombank kifizeti a 32 millió eurós bankgaranciát, de kiszáll a légitársaságból, amely így mintegy 95 százalékban ismét magyar állami tulajdonba került. A fennmaradó 5 százalékos tulajdonrészrel az orosz AirBridge rendelkezett. Ugyanennek az évnek a végén az Európai Bizottság bejelentette, hogy kivizsgált számos olyan támogatási intézkedést, beleértve több tőkeinjekciót és tulajdonosi kölcsönt, amelyeket a magyar hatóságok a Malévnek nyújtottak. A vizsgálat nyomán 2012 januárjában az Európai Bizottság 70-100 milliárd forint tiltott állami támogatás visszafizetésére kötelezte a társaságot. A közeledő krízis elkerülése érdekében 2012. január 30-án a kormány stratégiaileg kiemelt jelentőségű gazdálkodó szervezetté minősítette a veszteséges Malévet, ami speciális eljárást jelent csőd-, illetve felszámolási eljárás esetén. A társaság - amely már a 90-es évektől nem rendelkezett kellő tőkével a gazdaságossághoz - jelezte, hogy rövid időn belül működésképtelenné válhat, majd február 3-án hajnalban leállította járatait. [4]

Bekövetkezett az, amit a szakemberek közül sokan sejtettek, de az utasok és a szolgáltatást igénybe vevők közül kevesen gondoltak, felszámolási eljárás kezdődött a Nemzeti Légitársaság, a MALÉV ellen, hátrahagyva egy jelentős űrt.

## 2. MALÉV SZEREPE A KATONAI LÉGISZÁLLÍTÁSOKBAN

Az egyes közlekedési alágazatok munkamegosztásban betöltött szerepét vizsgálva arra a következtetésre juthatnánk, hogy a néhány százalékos részarányt kitevő légiközlekedés nem érdemel akkora figyelmet, hogy annak elemzésére a katonai feladatok rendszerében külön kitérjek. Azonban a NATO csatlakozást követően a Magyar Honvédség feladatrendszerében bekövetkezett változások – az ország területétől akár több ezer kilométerre zajló műveletekben történő részvétel – szükségesé tették a mobilitási képesség folyamatos biztosítását. Ennek egyik meghatározó eleme a légi szállító képesség biztosítása. A korábban kivételezett helyzetet elfoglaló vasúti szállítás helyett ma már a katonai szervezetek kitelepülése és visszatelepülése végrehajtásakor a személyi állomány mozgatása általában légi úton, a hadfelszerelés túlnyomó részének mozgatása (lehetőleg) vasúti és tengeri szállítással történik.

A Malév szerepének bemutatása érdekében a továbbiakban vizsgálom a Magyar Honvédség légiszállítási igényeinek változását és ezen igények kielégítéséhez rendelkezésre álló feltételeket.

### 2.1. Magyar Honvédség légiszállítási igényeinek változása [5]

A rendszerváltozást megelőző időben a Varsói Szerződés tagjaként stratégiai légiszállítási igénnyel alapvetően nem számoltunk, mint azt már említettem, a vasút töltötte be a mobilitási képesség biztosításának szerepét. Az esetenként felmerülő légiszállítási igények kielégítése a Magyar Néphadsereg saját kapacitásaival, az itt állomásozó szovjet csapatok légi szállító képességének igénybevételel, illetve az akkor még állami vállalként működő Malév szállítókapacitásának felhasználásával maradéktalanul megvalósítható volt.



A rendszerváltozást követően a Magyar Honvédség nemzetközi szerepvállalása már a NATO csatlakozás előtt elkezdődött, így a feladatok ismeretében már 1996-tól szükségesnek tartom vizsgálni a légiszállítási igények kielégítésének lehetőségeit.

A délszláv válság békés rendezésének végrehajtását biztosító erők (IFOR)<sup>5</sup> átvonulása, illetve a saját erők mozgatása során 1996-ban még légiszállítási igény nem merült fel.

1999-től azonban már a KFOR<sup>6</sup> állomány kiszállítása, állományváltásának végrehajtása szükségessé tette a személyszállítások légi úton történő megszervezését. Az akkori igényeket a Magyar Honvédség hadrendjében lévő AN 26-os szállító repülőgépekkel végre tudta hajtani a honvédség, így a polgári szállítóvállalatok alkalmazására nem volt szükség.

2000-ben azonban már a saját eszközzel történő légiszállítás nem volt kivitelezhető, így a KFOR állományváltás légi úton történő végrehajtását a vezérkarfőnök engedélye alapján a MALÉV által biztosított charter-járatokkal bonyolították le. A kiszállítások Skopje-be (Macedonia) történtek, és onnan helyben bérelt autóbusszokkal kellett az állományt Pristina-ba szállítása, mert kezdetben nem volt lehetőség a közvetlen Koszovóba történő légiszállításra.

Érdekessége volt az akkori szervezésnek, hogy minden járatra külön szerződést kötöttek, a MH SZFVK<sup>7</sup> Logisztikai Csoportfőnökség által biztosított listák alapján az egyes járatokra a MALÉV kiállította a repülőjegyeket. Már néhány szállítás alapján is megállapítható volt, hogy a légi úton történő kiszállítás a leggyorsabb és legkényelmesebb változat missziós területen lévő állomány váltására, így annak folyamatos fejlesztése jogos igényként merült fel.

Katonai légiszállítások szervezése szempontjából érdekessége még ennek az időszaknak, hogy az április – május hónapban megrendezett „ARDENT GROUND 2000” NATO hadgyakorlatra a résztvevő országok személyi állományuk 90 %-át, valamint egyes technikai eszközöket (általában az előkészítő részlegek eszközeit) légi úton szállították Magyarországra. A szállítások lebonyolítására a Ferihegy I. terminál kiválóan megfelelt. A katonai forgalmat tökéletesen el lehetett választani a polgári forgalomtól, annak működésében semmilyen zavart nem okozott. A ferihegyi nemzetközi repülőtéren közlekedési tiszt segítette a légiszállítások végrehajtását (33 repülőgép 1995 fő), további hasznos tapasztalatokat szerezve a légiszállítási feladatok koordinálása terén.

2001-2008 között az előző évhez hasonlóan, a magyar KFOR kontingens állományváltását légi úton, a MALÉV-től bérelt charter-járatokkal hajtották végre. Azonban a tapasztalatok alapján hosszabb távú megállapodás keretében kívánták lebiztosítani a szükséges légi szállító kapacitást. Ennek érdekében a „2002. évi KFOR állományváltás” már közbeszerzési eljárás keretében lett előkészítve. A meghívásos eljáráson továbbra is a MALÉV lett megbízva az MH légiszállítási feladatának végzésével, melyet Koszovó vonatkozásában önállóan 2008-ig végzett.

2002-ben a MALÉV a már említett feladatokon túl további légiszállítási megbízásokat is tel-

---

<sup>5</sup> IFOR: Implementation Force (Biztosító Erők)

<sup>6</sup> KFOR: Kosovo Force (Koszovóban tevékenykedő, a NATO parancsnoksága alatt működő nemzetközi békefenntartó haderő)

<sup>7</sup> MH SZFVK – MH Szárazföldi Vezérkar

jesített:

- megszervezésre került a Dynamic Mix 2002. nemzetközi gyakorlaton résztvevő személyi állomány ki és hazaszállítása 1 – 1 charter repülőgép biztosításával;
- a Sínai - félszigeten állomásozó MFO<sup>8</sup> Magyar kontingens fegyverzet cseréje végre lett hajtva;
- A MFO valamint az UNFICYP<sup>9</sup> kontingens részére ruházati, fegyverzeti, humán anyagok kerültek kiszállításra.

2003-ban a már ismertetett feladatok végrehajtását továbbra is a MALÉV végezte. Ebben az évben új feladatként jelent meg az iraki kontingens előkészítő részlege technikai, anyagi eszközei valamint személyi állománya kiszállításának szervezése. Ebben a feladatrendszerben a MALÉV már érdemben nem tudott részt venni, tekintettel arra, hogy a feladathoz szükséges járműparkkal nem rendelkezett. Így a lebonyolítás bérelt, AN 124 típusú teherszállító repülőgépekkel történt Taszár Bázis reptérről. Ez a helyzet mérföldkő volt a katonai légiszállítási feladatok végrehajtásának tervezése során. Világossá vált ugyanis, hogy a MALÉV a közepes távolságú, elsősorban állományváltási és kisebb mennyiségű anyagszállítási feladatokon túl nem képes a stratégiai légiszállítási feladatokban részt venni, így ezen a területen új megoldásokat kellett a Magyar Honvédségnek keresni. 2004-2005-ben több nagytávolságú légiszállítási feladatot a NATO által működtetett légihidak igénybevételevel, illetve az egyes NATO tagországok által biztosított repülőgépekkel lehetett csak megoldani.

A szükséges légiszállítási kapacitás lebiztosítása érdekében a Magyar Honvédség közbeszerzési eljárás keretében olyan nemzetközi szállítmányozó cég kiválasztására törekedett, aki képes volt a stratégiai szállítási igényeket a szerződésben meghatározott feltételekkel kielégíteni. A kiírt tendert a Dán DFDS szállítmányozó vállalat nyerte el, így a 2006. első félévében a magyar ISAF (MH Könnyű Gyalog Század) kontingens légi úton történő állományváltása már a Dán DFDS szállítmányozó közreműködésével került végrehajtásra. Szintén a DFDS szerződés alapján valósult meg az MH KGYSZD megerősítéséhez szükséges 6 db BTR 1 db AN-124 típusú repülőgéppel történő kiszállítása. Látható tehát, hogy 2006-tól a MALÉV szerepe a katonai légiszállítások terén egyre kisebb jelentőségűvé vált, de még részét képezte a szállítási rendszernek. Így a 2006. második felében lefolytatott, a 2007-2008. évi KFOR állományváltáshoz kapcsolódó és a 2007-2008. évi stratégiai szállítások végrehajtásáról szóló közbeszerzési eljárások közül a KFOR tekintetében a MALÉV, a stratégiai szállítások tekintetében pedig egy új szállítmányozó, a JAS Cargoways Kft került ki nyertesén.

2007-ben a KFOR kontingens légi úton történő állományváltását a MALÉV ZRt. januárban, illetve júliusban probléma mentesen hajtotta végre, mintegy 60 millió Ft értékben. A stratégiai szállításokra kiírt pályázatot elnyerő JAS Cargo Kft. az Afganisztánban szolgáló erők állományváltását február-márciusban, illetve augusztus-szeptemberben végrehajtotta mintegy 360 millió Ft értékben. Látható, hogy a hazai légitársaság nem csak volumenben, hanem árbevételben is jelentősen elmarad a katonai légiszállítás piacán!

---

<sup>8</sup> Multinational Force and Observers (MFO) (Többnemzetiségű Erők és Megfigyelő)

<sup>9</sup> UNFICYP (United Nations Peacekeeping Force in Cyprus, - Az Egyesült Nemzetek Ciprusi Békefenntartó Erői)



A 2008-ban az MH érdekében végrehajtott, az MH Katonai Közlekedési Központ által szervezett légiszállítási feladat teljes költsége mintegy 700 millió Ft volt, melynek csak töredékét jelentette a MALÉV által nyújtott szolgáltatás.

A szükséges szállítási kapacitások lebiztosítása érdekében ismét közbeszerzési pályázat került kiírásra. A komplex szállítások 2009 – 2011 évekre vonatkozó nyílt közbeszerzési eljárás lebonyolítása eredményesen megtörtént. A meghirdetett 2 részajánlati kör (KFOR légi állományváltás, ill. nemzetközi légi és tengeri szállítmányozás) győztese a JAS Cargoways. Kft, mellyel a szerződéskötés 2008. decemberben megtörtént. Ebben a szerződéses rendszerben a MALÉV közvetlenül már nem jelenik meg, de a KFOR állományváltásban alvállalkozóként még szerepet játszott. A lefolytatott közbeszerzési eljárás eredményeképpen a JAS Cargoways Kft-vel kötött Vállalkozási keretszerződés (2009-2011) alapján végrehajtotta az állományváltásokat.

## **2.2. A MALÉV helyzetének megítélése a Magyar Honvédség légiszállítási rendszerében**

Az előzőekben igyekeztem szemléltetni, hogy a MALÉV az elmúlt tizenöt évben milyen területeken vett részt a Magyar Honvédség légiszállítási feladataiban. A rendelkezésre álló adatok, információk alapján megállapítható, hogy:

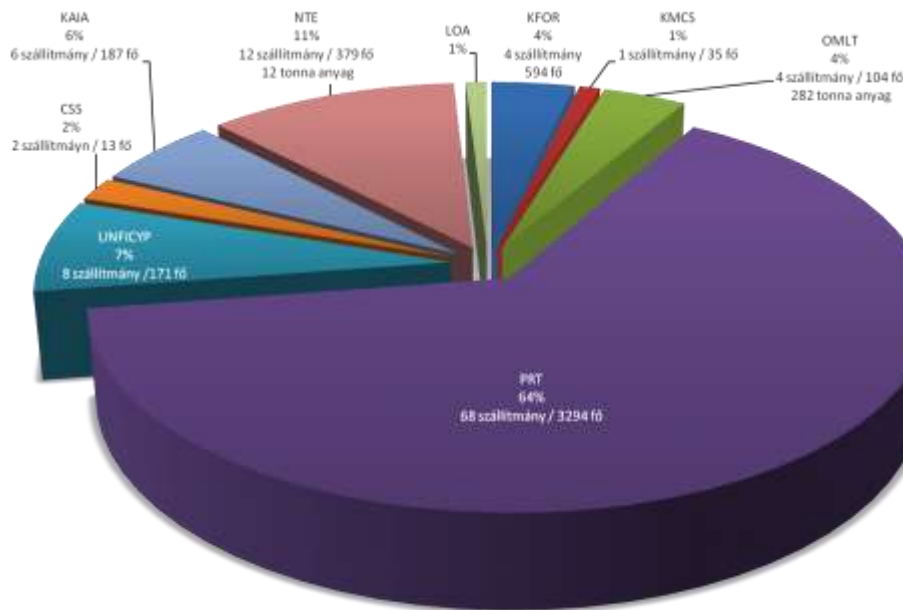
- a légiszállítási igények felmerülésének kezdetén a MALÉV a lehetőségeit figyelembe véve teljesítette a Magyar Honvédség megrendeléseit;
- a NATO tagsággal járó új feladatrendszer szükségessé tette az MH erői mobilitási képességének emelését, aminek alapeleme a stratégiai szállítókapacitások már békeidőben történő megteremtése, illetve garantált szerződésekkel történő lebiztosítása. Ez történhet a fuvarpiacról, vagy a NATO tagországok együttműködésének eredményeként is. Ezen a területen a MALÉV nem tudta felkínálni azokat a szolgáltatásokat, melyek megfelelték volna az új típusú elvárásoknak;
- a Magyar Honvédség a hazai jogszabályok és a NATO követelményeinek megfelelően a fokozódó légiszállítási igények kielégítése érdekében közbeszerzési eljárás keretében kellett, hogy biztosítsa a szükséges kapacitásokat. Ezekről a tenderekről a MALÉV lemaradt, így a nyertes szállítványozó már jogszerűen bárkit választhatott a piaci szereplők közül, így a MALÉV már nem élvezett prioritást;
- részaránya egyre kisebb lett ebben a szolgáltatási szegmensben.

Az utolsó bekezdés indoklásaként egy ábrát szeretnék bemutatni (2. számú ábra), ahol a MALÉV által végzett katonai légiszállítási feladat arányát kívánom szemléltetni. Látható, hogy a 2011-en végrehajtott összes – nem saját eszközzel – légiszállításon belül a MALÉV által végzett KFOR szállítások aránya csupán 4%-ot tett ki.

Az eddigieket összefoglalva úgy ítélem meg, hogy abban a piaci szegmensben, ahol a MALÉV képes volt a Honvédség igényeinek megfelelő szolgáltatást nyújtani, jelentős piaci verseny alakult ki, így helyettesítése probléma nélkül megoldható. Az új kihívások okán felmerülő speciális szállítási feladatok terén nem tudott olyan kapacitásokat létrehozni, ami a HM igényeinek is megfelelt volna, de ez nem is lehet elvárás vele szemben, hiszen ezek az igények sajátosak, a mindennapi áruszállítástól alapvetően eltérő eszközparkot igényelnek. Megítélésem szerint erre egyetlen nemzeti légitársaság sem tud felkészülni és nem is lehet a feladata.

## Légiszállítások nem saját eszközzel

106 szállítmány / 4777 fő / 26 db technikai eszköz / 320 tonna anyag  
megközelítőleg 1 269 250 € költség



2. ábra Nem saját eszközökkel végrehajtott légiszállítások 2011. évi helyzete<sup>10</sup>

### 3. A MALÉV MEGSZŪNÉSÉNEK VÁRHATÓ HATÁSAI

Az előző fejezet elemzése rávilágított arra a tényre, hogy a MALÉV szerepvállalása a katonai légiszállítási igények kielégítése terén az elmúlt néhány évben már nem volt meghatározó. Lényegét tekintve attól a ponttól, hogy a stratégiai katonai szállítási feladatok szervezésére kiírt közbeszerzési pályázaton nem indult, és a továbbiakban csak a nyertes cég (JAS Cargoways Kft) alvállalkozójaként lépett be a katonai légiszállítások végrehajtásába, mint nemzeti légitársaság a vezető szerepét elveszítette. Hogy milyen tényezők vezettek idáig, könnyen beláthatók:

- a MALÉV nem rendelkezett azzal a speciális járműparkkal – itt elsősorban nagytömegű áruszállítási feladatok végrehajtására alkalmas repülőgépekről kell elsősorban beszélni –, mellyel érdemben részt tudott volna venni a NATO tagság következményeképpen megjelenő stratégiai légiszállítási feladatok végrehajtásában, de itt meg kell jegyezni, hogy egy Magyarország méretű ország nemzeti légitársasága piaci alapon nem is képes olyan speciális eszközparkot rendszerben tartani, melynek kapacitásait csak egy szűk szegmensben tudja kihasználni;
- a Magyar Honvédség a NATO együttműködési rendszerében és részben piaci viszonyok között képes volt biztosítani azt a stratégiai légiszállító kapacitást, ami az alapfeladatok biztosításához nélkülözhetetlen volt;

<sup>10</sup> Forrás: Honvédelmi Minisztérium Fegyverzeti és Hadbiztosi Hivatal belső tanulmány

Azonban a MALÉV ügy rávilágított olyan problémákra, melyek eddig is fennálltak, de a napi feladatok megoldási kényszerében kevesebb figyelem jutott elemzésükre. Ilyen felmerülő problémának tekintem többek között az alábbiakat:

- Malév szállítókapa­citásának kiváltási lehetőségei?
- A Liszt Ferenc Repülőtér I. terminál, „bezárásának” hatásai a katonai légi szállítások végrehajtására?
- A légiközlekedési infrastruktúra, mint kritikus infrastruktúra elemzése, értékelése.

Az első pontban feltett kérdés valójában arra terjed ki, hogy elvárható-e a nemzeti légitársaságtól a Honvédelmi igények szerinti eszközbeszerzés. Megítélésem szerint ennek a folyamatnak fordítva kellene működni, vagyis a HM speciális igényei szerint beszerzett repülőgépek szabad kapacitását célszerű a fuvarpiacon értékesíteni a költséghatékonyság érdekében. Sok ország jár ezen az úton. A hazánkhoz hasonló nagyságú vagy hozzá­nk hasonló helyzetben lévő NATO és PfP tagországok is dolgoznak a hadászati légi szállító­képességeik megteremtésén vagy növelésén. Lengyelország 2004-ben 8 db CASA (CN-295M) típusú spanyol szállító repülőgépet vett 228 MUSD értékben, Csehország 2 db többfunkciós AIRBUS 319 típusú repülőgépet vett 2006-ban és további kifejezetten katonai szállítórepülőgépek meg­véte­lével tervezi leváltani előregedett AN-26-osait. Románia 1997-től kezdve vásárolt használt, C-130 típusú gépeket (5 db-ot), melyekkel NATO körökben nagy elismerést aratva önállóan szállította ki Afganisztánba az ottani békefenntartó műveletbe felajánlott zászlóalj­ját. A PfP tag Ausztria szintén 3 db használt C-130-st vásárolt 2002-ben, megteremtve így korábban nem létező légi szállító kapacitását. A hejcei baleset nyomán Szlovákia is elkezdte az AN 24/26-osai cseréjét. Szomszédaink közül még Szlovénia is két katonai szállítórepülőgép vásárlásáról döntött. A C-27J Spartan vagy a CASA C-295 típus közül kiválasztandó gépek 2008-ban és 2012-ben állnak hadrendbe. [6]

A kisebb kapacitású és alapvetően – de nem kizárólag- kistávolságú (taktikai) szállítások érdekében ma már a kisebb, olcsóbb, de a jelenleginél jóval korszerűbb, nagyobb kapacitású és hatótávolságú új katonai szállítórepülőgépek beszerzését, lízingjét szükséges vizsgálni.

A katonai szállítókapa­citás megújítása, a várható költségek feltérképezése érdekében szükséges a piackutatás és a hasonló helyzetű országokkal valamint a megfelelő gyártókkal a mielőbbi kapcsolatfelvétel.

A taktikai szállító­képesség hosszútávú nemzeti felelősségi körben történő fenntartása érdekében a Magyar Honvédség légiszállító kapacitása növeléséhez, megújításához, az ambíciószin­te­kben szereplő feladatok teljes körű megoldásához szükség lenne 4-5 db szállító repülőgépre az An-26-os leváltására, annak kategóriájában, de nagyobb hatótávolsággal és növelt (kb.10 tonnás) teherbírással. (Ebben a kategóriában jelenleg a C-295, An-72, An-74, C-27J Spartan típusok jöhetnek szóba, amelyek gépenkénti új ára 24-29 millió EUR körüli. ) [6]

Az MH részére szükséges légiszállító kapacitás és a szükséges repülőgépek felmérésére 2003-ban a Védelmi felülvizsgálat kapcsán egy munkacsoport alakult. Az alapos elemző munka nyomán a munkacsoport következtetése akkor az volt, hogy a külföldi műveletek végrehajtásához kifejezetten katonai célokra kifejlesztett, a felajánlott magyar alakulatok rendszeresített technikai eszközeinek és személyi állományának szállítására is alkalmas légiszállító eszkö-

zókra van szükség. Sajnos azóta a költségvetési lehetőségeink nem az akkor prognosztizált növekedést, hanem igen határozott csökkenést mutatnak, így – sok más mellett- újra kellett gondolni külföldi szerepvállalásainkkal kapcsolatos ambíciószintünket is. Emellett elérhető közelségbe kerültek azok a multinacionális megoldások, melyekkel a terheket megosztva juthatunk technikai eszközeink nagytávolságú szállítására alkalmas kapacitásokhoz. E körülmények figyelembevételével kisebb, olcsóbb, de a jelenleginél jóval korszerűbb, nagyobb kapacitású és hatótávolságú katonai szállítórepülőgépek beszerzésében célszerű gondolkodni.

A második pontban megfogalmazott probléma a repülőterek biztosítása. Köztudott, hogy a MALÉV csődje a Liszt Ferenc repülőtér egyes termináljának üzemeltetésére is negatívan hatott. Katonai szempontból azonban ez nem jelent igazán problémát, mert a tapasztalatok alapján a Budapest Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér katonai célra történő használata a leginkább nehézkes, mivel a szabályok itt a legszigorúbbak. Ezért a polgári repülőterek használatánál javasolt a sokkal rugalmasabb Debreceni Repülőtér használata, illetve a feladatra felkészített katonai repülőterek igénybevétele. Ez a 2011. évi katonai szállítási feladatok végrehajtásánál nem is okozott problémát, mivel a szállítandó állomány számára vagy közelebb volt Debrecen, vagy hasonló távolságra, mint Budapest. A későbbiekben meggondolandó, hogy a távolabbi helyőrségek (pl. Tata) számára is Debrecen használata a célszerűbb, vagy alternatív megoldást kell keresni.

A harmadik pontban megfogalmazottak esetében egyértelmű dolog a jelenlegi jogi szabályozás alapján, hogy a légiközlekedés szerves részét képezi a kritikus infrastruktúrák rendszerének. [7] Fontos azonban a MALÉV vizsgálatával összefüggésben feltenni a kérdést, a járműpark összetételében van-e mód hatást gyakorolni egy piaci szereplőre, hogy a védelmi igényeknek megfelelő képességekkel rendelkező járműparkot tartson üzemben? Megítélésem szerint ennek csak akkor van értelme, ha a plusz költségeket az állam kompenzálja. Ennek az elvek a kidolgozására több kísérlet is volt már, de igazán soha nem sikerült olyan megoldást találni, ami mindkét szereplőnek az érdekeit egyformán szolgálta. [8] Így megítélésem szerint a továbbiakban a repülőtéri és légiközlekedési irányítási infrastruktúrára, mint kritikus infrastruktúrára célszerű koncentrálni. Ebben a vonatkozásban a MALÉV megszűnése semmilyen konkrét hatást nem gyakorol, hiszen ezen infrastrukturális elemek működtetését a továbbiakban is a vonatkozó hazai és EU-s előírások figyelembevételével kell végezni. [9]

A fentek alapján úgy ítélem meg, hogy a MALÉV csődje a katonai légiszállítási feladatok terén nem okozott jelentős problémát, hiszen az általa végzett szolgáltatásokra 2012-ben már a JAS Cargoways Kft. egy szlovák légiközlekedési szolgáltatót léptetett be a rendszerbe, biztosítva ezzel a katonai szállítási igények szerződésben rögzített teljesítési feltételeit.

A védelmi igények kielégítése és a kritikus infrastruktúra kezelés terén azonban felmerül a kérdés, krízis helyzetben az igények kielégítésére rendelkezésre fog-e állni megfelelő légiszállító kapacitás, elegendő-e a törvényi keretek között megfogalmazott szolgáltatási kötelezettség rögzítése, vagy célszerű – esetleg katonai szállítókapa- citás keretében – olyan kapacitások kialakítása, amely minden körülmények között rendelkezésre áll a rendkívüli helyzeteket kezelő szervezetek számára.



Több mint három hónappal a MALÉV csődjét követően – bár több kezdeményezés is napvilágot látott – kijelenthető, hogy a közeljövőben többségi állami tulajdonú légitársaság nem fog működni Magyarországon. A megszűnt szolgáltatásokat más légitársaságok átveszik, az utazóközönség megtalálja a számára kedvező szolgáltatót és a Liszt Ferenc repülőtér életében is visszaáll a napi szokásos munkarend. Az Európai Unió szabályozási környezete, a liberalizált gazdasági élet nagy valószínűséggel fog még akár a közlekedési, akár más stratégiai szektorban hasonló helyzeteket létrehozni. Ezeket elkerülni megítélésem szerint nem lehet, de fel lehet készülni rá, biztosítva ezzel a „váratlansági faktor” kiküszöbölését.

A közlekedési szektorban ez előrevetíti az alternatív lehetőségek folyamatos vizsgálatát, a tartalékkapacitások ésszerű lebiztosításának igényét. A közlekedési rendszerrel szembeni védelmi követelmények, valamint a kritikus közlekedési infrastruktúrák elemzésével foglalkozó szakember számára a váratlan események bekövetkezésének lehetősége jól körvonalazható, az azokra történő felkészülés a mindennapi feladatok között kell, hogy szerepeljen. Sok esetben szerencsére a normál gazdasági folyamatok kézenfekvő megoldást adnak a probléma kezelésére. Jól példázza ezt az, hogy a MALÉV csődjét követően a polgári közlekedési rendszerben megindult a kiegyenlítődési folyamat, a fapados légitársaságok, a közúti és vasúti szolgáltatók igyekeztek kitölteni a felszabaduló piaci szegmenst.

A katonai légiszállítási igények kielégítése esetén is – kifejezetten a MALÉV által végzett feladatok terén – ez a lehetőség fennállhat, azonban a stratégiai szállítási képességek vonatkozásában ez a helyettesíthetőség már nehezen oldható meg. Így ezen a területen, mint arra már sok szakember rámutatott [6][7][8][9], nélkülözhetetlen az ország számára bármikor hozzáférhető, célszerűen a Magyar Honvédség rendszerében kialakított –saját eszközparkkal biztosított – stratégiai légiszállító képesség.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] GÁSPÁR János: 75 éves a magyar polgári légiközlekedés, Magyar Közlekedési Közművelődésért Alapítvány, url: <http://mkka.hu/historia/egyebkozlekedes/legikozlekedes>
- [2] FÖLDESI László: ÖT ÉVTIZED SZÁRNYAKON (Ötven éves a Magyar Légiközlekedési Vállalat), Magyar Szárnyak, Budapest, 1996. évi 24. szám 213-219. o.
- [3] A MALÉV 65 éve, url: <http://repulnijo.hu/a-malev-65-eve/> (2012.03.29.)
- [4] FEKETE László: A Malév története, e-doc url: <http://www.felsofokon.hu/gazdasagi-jog-kozbeszerzes/2012/02/11/a-malev-tortenete-1-szarnybontas> (2012.03.29.)
- [5] JELENTÉS az 1996-2011. évben végrehajtott közlekedési támogatási és szállítási feladatokról, Magyar Honvédség Katonai Közlekedési Központ éves jelentései.
- [6] VIGH Attila: Merevszárnyú légi szállítóképesség jelene és jövője, Honvédelmi Minisztérium Fegyverzeti és Hadbiztosági Hivatal belső tanulmány, 2011.
- [7] Dr. HORVÁTH Attila: Közlekedési hálózat és az ország védelmi képesség kapcsolata (védelmi követelmények a közlekedésfejlesztésben) [http://www.biztonsagpolitika.com/userfiles/file/PDF/horvath\\_attila\\_kozlekedesbiztonsag.pdf](http://www.biztonsagpolitika.com/userfiles/file/PDF/horvath_attila_kozlekedesbiztonsag.pdf) 2009. 09.24.
- [8] Dr. TÓTH Bálint – HELMECZI Gusztáv: Védelmi követelmények a Gazdasági és a Közlekedési Minisztérium Közlekedési szakterületén. – [www.honvedelem.hu/files/9/5683/vedelmi\\_kovetelmenyek\\_a\\_gkm\\_kozlekedesi\\_szakterulet\\_n\\_toth\\_b\\_iii\\_rs\\_.pdf](http://www.honvedelem.hu/files/9/5683/vedelmi_kovetelmenyek_a_gkm_kozlekedesi_szakterulet_n_toth_b_iii_rs_.pdf) portál, 2009. 09. 26.
- [9] HORVÁTH Attila: A közlekedési hálózat és a védelmi érdek kapcsolata. Lektorált tanulmány. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Egyetemi Könyvtár őrzési helyén. Budapest, 2004.

Hennel Sándor<sup>1</sup>

## POLGÁRI ÉS KATONAI REPÜLŐGÉPEK TERVEZÉSI SAJÁTÓSÁGAI, ELTÉRÉSEI<sup>2</sup>

*A hidegháború végével, az aszimmetrikus hadviselés megerősödésével a hadikultúrák is világszerte megváltoztak, és ennek megfelelően jelentős mértékben módosult a felhasznált harci eszközállomány is. A polgári és katonai együttműködés is erősödni kezdett azzal, hogy a felhasználás technikai eszközei közeledtek egymáshoz. Számos olyan repülőgép ismert világszerte, amelyet eredetileg civil feladatokra terveztek, majd később katonai szempontok szerint alakítottak át. Az Egyesült Államok Nemzeti Gárdával megerősödött hadikultúrája, a személyi és eszközállomány jó határfokú felhasználása világszerte terjed, erős polgári és katonai együttműködést építve. Érdekes tehát megvizsgálni mind a polgári, mind a katonai repülőgépek alapvető jellemzőit, kimutatni a közöttük lévő, és feladatrendszerükből adódó eltéréseket, valamint az ebből adódó technikai különbségeket.*

### **FEATURES AND DIFFERENCES WITH RESPECT TO PLANNING OF CIVIL AND MILITARY AIRPLAINS**

*By the end of the Cold War, while the asymmetric warfare became more and more important, the martial methods significantly changed, as well as the used armament. The civil and military sectors' interoperability turned to become notably strong due to their common technical appliance. There are several well known airplains, which were created to be applied by the civil sector, but were also restructured for military usage later on. The US warfare has been strengthened by the US National Guard, which became an example worth following by the way of generating a strong military and civil interoperability and using the human resources and material stocks on the highest efficiency. Accordingly it is well worth studying the basic features of the civil and military airplains, emphasizing the differences between their methods as well as their technical adjustment.*

## BEVEZETŐ GONDOLATOK

A repülőgépek tervezése és fejlesztése minden esetben egy jól meghatározott irányvonal, feladatrendszer megfogalmazása után valósul meg. A tervezés egyben felkészülés a gyártásra, az üzemeltetésre, egy esetleges valós katonai alkalmazásra, és az életciklus végén a kivonásra, újrahaznosításra. A repülőgép tervezésénél elsődleges szempont a kitűzött felhasználási célok megvalósítása, ennek legkritikusabb eszköze pedig a tömeg alacsony értéken tartása. Ezért is mondják, hogy a repülőgépen minden alkatrész méretezett, a terhelésnek, illetve éppen az adott speciális viszonyoknak megfelelően kerül kialakításra. Gyakran használt kézenfekvő példa a nem menetes csavarszárak magméretre visszakönnyítése.

Az, hogy két légi jármű közül melyik az, amelyik katonai és melyik az, amelyik polgári célokra készült, rövid elemzés után megállapítható. Tanulmányom ezen jól látható és a háttérben meghúzódó különbségek vizsgálatát célozza.

<sup>1</sup> okl. mk. szds., MH 86. Szolnok Helikopter Bázis, NKE doktorandusza

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

Számos olyan repülőgép ismert, amelyet eredetileg a civil repülés számára terveztek, majd később katonai szempontok szerint módosítottak (1. ábra). A hidegháború szovjet polgári fejlesztései sok esetben már a tervezőasztalon tartalmazták az adott jármű hadrendbe illesztésének lehetőségét, legyen az személyautó vagy akár repülőgép.



1. ábra SF-260, Socata-235, SF-92, és a C-337 felfegyverzett polgári tervezésű repülőgépek [1]

Érdeemes tisztázni néhány fogalmat ezzel kapcsolatban, amely gyakran összekeveredik a köznyelv szóhasználatában.

- A **katonai légi jármű** az az eszköz, amelyet hadi felhasználásra optimalizáltak, bár nem közvetlen harcérrintkezésre készült, de a háborús túlélőképesség igénye megjelenik rajta. (C-17 Globemaster, Mi-8 HIP)
- A **harc repülőgép** aktív résztvevője a közvetlen harcoknak, harci túlélőképességét ezért lehetőség szerint maximalizálták, és a rajta lévő fegyverzet is erősebb, mint egy katonai repülőgép esetében. (A-10 Thunderbolt, Mi-24 Hind)
- A **polgári repülőeszközöknél** a tervezés során a gép gazdaságossági, sport felhasználhatósága vagy a tömeg alacsony értéken tartása illetve egyéb speciális képesség volt a fő cél.
- A **felfegyverzett repülőgépek** azok a légi járművek, amelyeket polgári célra terveztek, és később egészítették ki fegyverzetrel, vagy egyéb speciális képességgel. Fontos, hogy ezen eszközök alap építési célkitűzéseiben a túlélőképesség nem volt szempont. (1. ábra SF-260, Socata-235, SF-92, C-337)

A hidegháború végével, az aszimmetrikus hadviselés megerősödésével a hadikultúrák is világszerte megváltoztak, és ennek megfelelően jelentős mértékben módosult a felhasznált eszközállomány is. Az új feladatrendszer, valamint a fejlett országok saját belső veszélyeztetettségi, kockázati -szintjének csökkenésével gyökeresen **új követelményrendszer** alakult, ala-

kul ki. A polgári és katonai együttműködés is erősödik azzal, hogy a felhasználás eszközei közelednek egymáshoz. Az Egyesült Államok a Nemzeti Gárdával megerősített hadikultúrája, a sorozatos háborúk és az arra való felkészülés, ugyanakkor a készenlétben tartás követelménye, egyre nagyobb súllyal jelenik meg világszerte, és egyre inkább arra enged következtetni, hogy a civil és katonai terület a jövőben egységesen és egymásra tekintettel lesz kezelendő. Ennek a folyamatnak, illetve tendenciának a katonai-polgári repülőgép tervezésre gyakorolt hatását érdemes megvizsgálni, és lehetőség szerint előremutató következtetéseket levonni.

## CÉLOK ÉS KOCKÁZATOK

A katonai légijárművek lényegében valamennyi civil felhasználási részterületet felölelnek, mégsem mondhatjuk, hogy a katonai repülőgépek szerkezeti kialakítása teljes mértékben kielégítene a civil repülés által elvárt követelményeket. A polgári repülésben nagyobb súllyal esik latba a **gazdaságosság** (gyártási és üzemeltetési költség), a **kényelem, biztonság** és a **külső megjelenés** szempontjai.

A nyereségorientált civil repülés területén más szerkezeti megoldások jelennek meg. **Az alapvető különbséget mégis a hadszíntéri veszélyeztetettség generálja.** A katonai alkalmazás során minden katonai légi tevékenységet - különböző erő kifejtéssel, de – a szembenállók igyekeznek meggátolni. Ez az ellentevékenység a katonai légijármű egyedi kialakításának az alapja. A tervezők ezért elsősorban a **repülőgép felderíthetőségét, a különböző pusztító eszközök által okozott sérüléseket, valamint a sérülések következményeit igyekeznek csökkenteni.** A feladatok során a harcászati célok elérésének fontossága sokszor a repülésbiztonság rovására megy, azaz a feladat végrehajtásának a fontossága nagyobb nyomattal bír, mint a repülőgépben okozott sérülések minimalizálásának igénye.

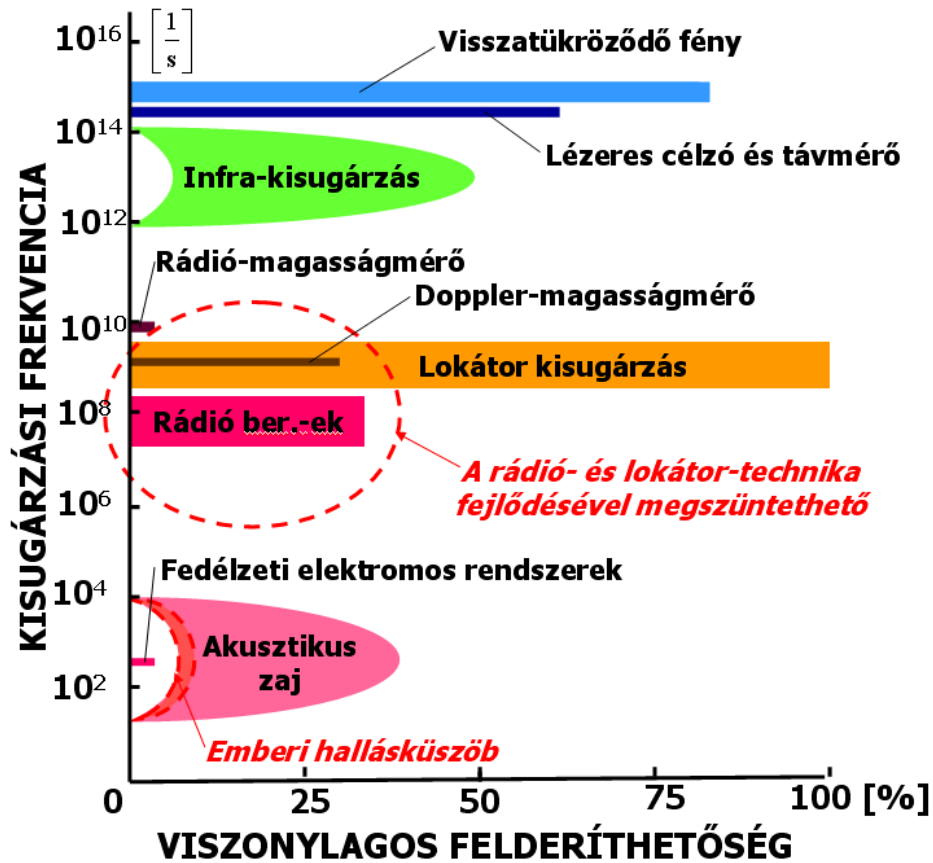
Egy adott légijármű megsemmisíthetősége, védettsége nagyban függ a helyi, háborús konfliktus jellegétől, helyi sajátosságaitól. A saját csapatok által kivívott légi uralommal rendelkező területen, ahol a földről indítható légvédelmi rakéták használatának lehetősége is gyenge, más eszközök használata célszerű, mint hagyományosan és hasonlóan felszerelt reguláris erők ellen. Érdemes megvizsgálni annak a lehetőségét, hogy légijármű műszaki fejlesztése gazdaságossági, harcászati szempontból előnyös-e, egy minden feladatra képes erős védettségű, széles sebességtartományú légijármű használata, több kisebb részfeladat megoldására képes eszközzel szemben.

A későbbi modernizáció, korszerűsítés lehetőségét már az alap tervezésnél figyelembe kell venni számítógépes vezérlési rendszerek fejlesztésével. A JAS 39, Gripennél például folyamatos szoftver frissítésekkel javítják a meglévő hardver állomány képességét. Az üzemeltetési tapasztalatok összegyűjtésével – amely a fedélzeti adatrögzítő és monitoring rendszer felhasználásával könnyen megoldható – új fegyverzeti, navigációs és repülésdinamikai tapasztalatok vonhatóak le, az esetleges hibák pedig kiküszöbölhetőek.

### Felderítés

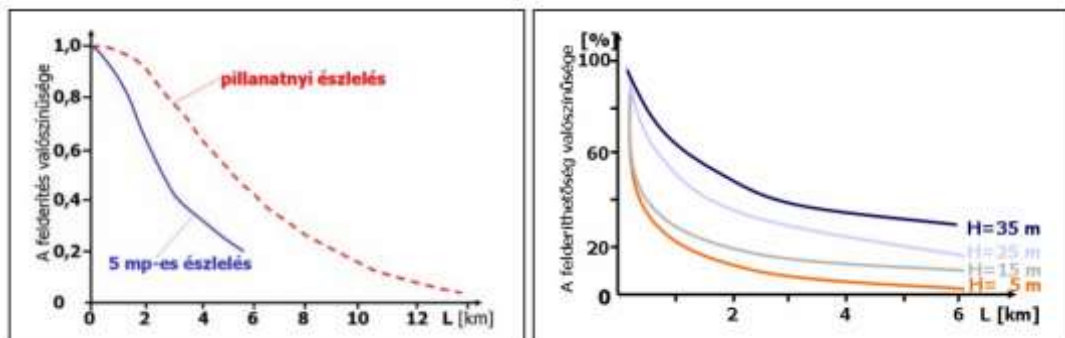
**Az észlelhetőség, felderíthetőség csökkentésének** legfőbb területei a vizuális-, akusztikus-, hő- és radar felderítés. (2. ábra) Az előrejelzés, felderítés napjainkban alapvetően a radar fel-

derítést jelenti, amely a repülőgépek által visszavert radarsugarak vételére épül. A radar jelek visszaverésének csökkentése, elnyelése különböző konstrukciós megoldásokkal, illetve a burkoló- és szerkezeti anyag helyes megválasztásával valósítható meg. A felderíthetőség csökkentése továbbá a fedélzeti berendezések rádió, mágneses, hő és hang kisugárzásának csökkentésével érhető el. A saját fedélzeti (felderítő, időjárás, terepkövető) lokátor alkalmazása, a kisugárzás miatt azonban jelentős veszélyeket rejt.



2. ábra Légijárművek felderíthetőségi frekvenciái [2]

A radar felderíthetőség csökkentésének másik gyakorlati módja az alacsony magasságú repülés, ahol a földön lévő tereptárgyak, és a Föld görbülete biztosít védettséget. Ez a védettség viszont rontja a repülésbiztonságot, növeli a hajózó állomány leterheltségét, továbbá speciális talajkövető rendszerek beépítését igényli.



3. ábra A vizuális felderíthetőség a távolság és a magasság szerint [3]

A 3. ábra alapján látható, hogy a vizuális felderítés valószínűsége a magasságtól erősen függ; 15 méteres magasság alatt repülve 5 kilométeres távolságban alig 5% és az Sz-5-ös nem irányított rakéták indítási távolságában 1,5 kilométeren is alig 15%. [3]

A felderíthetőség további szegmensei a **vizuális-, akusztikus-, illetve hő érzékelés** elvén alapulnak. Az aszimmetrikus hadviselésben a vizuális felderítés kiemelt fontossággal bír. Az észlelhetőség, felderíthetőség csökkentésének egyik legrégebben ismert módszere a klimatikus viszonyoknak, évszaknak, földrajzi övezetnek megfelelő álcázó festés, tábori repülőterek állóhelyén, hasonló szempontok szerint kialakított álcahalók használata. Elsődleges a külső megjelenés módosítása, álcázó festés alkalmazása a sajátos éghajlati, növényzeti viszonyoknak, illetve az alkalmazott harcéljárásnak megfelelően. Az éjszakai bevetésű gépeket sötét szürke, illetve fekete színűre festik. Az éjjellátó berendezések használata és az éjszakai műveletek száma ugyanakkor napjainkban jelentősen megnövekedett, így a vizuális felderítés valószínűsége jelentősen csökken. Ennek megfelelően a külső és a kabinon belüli világítás is módosult. A külső hagyományos megvilágításhoz használt reflektorokat vagy egyáltalán nem használják, vagy olyan speciális szűrő alkalmazásával, amely csak az infra tartományban (éjjellátó készülékkel) látható.

A repülőgépek hőkibocsátáson alapuló felderíthetősége alapvetően a hajtóművek – motorok - hőkiszárgázására vezethető vissza. A tüzelőanyagban rejlő hőenergia - üzemmódtól függően - 70-90%-a hővé alakul. A felderítés megnehezítése, illetve hatékonyságának csökkentése érdekében ezért a gázturbinák kiáramló gázhűtését a környezeti levegővel való keverésével oldják meg; így a közeg hőmérséklete csökken, az izzó alkatrészek pedig takarásba kerülnek, mindamelllett, hogy a kiáramló hő mennyisége változatlan marad. Passzív megoldásként felmerül a kisebb motor teljesítmények esetén - 500 kW alatt - a repülőgép dízel motor alkalmazásának lehetősége is, ahol a jó hatásfok miatt a veszteség hőmennyiség jóval alacsonyabb, így ennek nagy részét (közel 50%-át) folyadékűtőn keresztül, alig néhány fokos levegőhőmérséklet emelkedés mellett vezetik el. [4][5]

### **Sérülések megelőzése, következményeinek csökkentése**

**A különböző pusztító eszközök hatékonyságát napjainkban** az RWR (Radar Warning Receiver – Besugárzás jelző, radar befogás jelző) és az MAWS (Missile Approach Warning System - Rakéta közeledésre figyelmeztető rendszer) használata képes csökkenteni. Az elhárítása manőverezéssel, optikai, infra csapdákkal illetve vontatott hamis célokkal történhet. Ezen feladatok ellátásához szükséges berendezések elhelyezése azonban többlet súllyal és romló aerodinamikai kialakítással is együtt jár.

A repülőgépet ért találatok és az ezáltal **okozott sérülések optimális szerkezeti kialakítás mellett ugyanakkor hatásosan csökkenthetőek**. Nyilvánvaló, hogy a repülőgép fő elemeinek – így különösen a szárny, a vezérsík, a forgószárny, a farok légcsavar - elvesztése azonnali repülésképtelenséget jelent. Ezen kulcsfontosságú pontok védelme elsődlegesen, speciális konstrukciós megoldásokkal biztosítandó és csak másodlagosan páncélozással; a találatok elleni védelemhez szükséges plusz szerkezeti elemek, azaz a páncélozás kialakítása ugyanis minden esetben a tömeg növekedésével jár.

Szintén alap követelmény a repülőgép szerkezeteknél, hogy a konstrukció ne váljon működésképtelenné egy elem sérülése esetén, azaz a képességeinek romlása minél alacsonyabb mértékű legyen. A konstrukció kiválasztásánál a **duplikálás, multiplikálás** – kétszerezés, többszörözés - nem is jelent feltétlenül szerkezeti tömegnövekedést. A sárkányszerkezet adott teherviselő elemeinek tömege, méretei csökkenthetőek, ha a terhelést egyszerre több „párhuzamosított” elem veszi fel. (pl. több főtartós szárnszerkezet)

A katonai felhasználásban a speciális szerkezeti anyagok, gyártástechnológiák, berendezések gyakrabban jelennek meg. Ennek fő oka a magasabb előállítási költség, amely a hadiiparban gyengébb prioritást élvez, mint a civil repülőgépek gyártása során.

A tervezésnél a szerkezeti elemek terhelhetősége, gyártási, találati érzékenysége rendszerint a **biztonsági tényezők** növelésével fokozható. Természetesen egy optimum keresés eredményeként születik meg az a viszonylag alacsony biztonsági tényező, s az ennek megfelelő szerkezeti konstrukció, amely még a háborús túlélőképességet javítja, de a gép tömegét csak elfogadhatóan kis mértékben növeli.

A páncélozás, mint megoldás tehát a fentiek értelmében a tömegnövekedést eredményező mivolta miatt alapvetően kerülendő. Emiatt a repülőgépek túlélő képességét inkább tömegnövekedést nem okozó, szerkezeti megoldásokkal igyekeznek javítani. Sok esetben, egyes szerkezeti elemek jellegéből adódóan nem lehet a duplikálást (kétszerezést), mint biztonságot növelő eljárást sem alkalmazni. Ilyen esetekben használják az úgynevezett **árnyékolás eszközt**, amely azt jelenti, hogy kevésbé fontos berendezésekkel körbevéve – árnyékolva - csökkentik a létfontosságú rész találattal szembeni sérülékenységét. A Ka-50 típusú helikopter esetén például a két hajtómű közé került beépítésre a főreduktor; s bár a hajtómű sérülése is jelentős kockázati elem, mégis találat esetén a gép még működőképes marad, szemben a forgószárny reduktor találatával, amikor a helikopter azonnal működésképtelenné válik, illetve a működése jelentősen lecsökken. (4. ábra)



4. ábra Hajtóművekkel árnyékolt reduktor a Ka-50 helikopteren [1]

A fejlesztés során szempontként jelenik meg egy találat következtében elfolyt, üzemanyag, hidraulika olaj, motorolaj, hűtővíz, hiányából adódó száraz működési idő megnyújtása. Például a főreduktor találat esetén az elfolyt kenőolaj hiányában a fogaskerék rendszer berágódhat, be-sülhet, csapágyai tönkremehetnek, melyek azonban felületkezeléssel, olaj adalékolásával, alkat-részen belüli szerkezeti kialakítással, (léghűtő alkalmazásával) lassítható. Ezen szempontok a polgári repülésben, mint repülésbiztonsági tényező megjelennek, de kisebb fontossággal.

A korszerű repülőgépeknél alkalmazott „fail-safe” (törésbiztos) szerkezeti kialakítás lényege, hogy jól tolerálja a repülőgépeket ért helyi sérüléseket, kifáradásos repedéseket, töréseket. A találatból származó repedések ugyanis – melyek minden szerkezeti törésnek az alapját képe-zik - nem terjednek tovább, így a sérülés nem vezet végső soron a szerkezet összeomlásához, hiszen a fail-safe szerkezeti kialakítás esetén az adott repedés terjedésnek mindig van egy, a terjedést megállító szerkezeti pontja.

### Szerkezeti elemek

A szárny, törzs **borítás** tiszta héjszerkezetű kialakítás esetén felveszi a terhelést, így annak sérülése kritikussá válhat. A burkolat sérülése a félháj és rácsszerkezetek esetén általában nem jelent súlyos hibát, hiszen a terhelés felvételében nem, vagy csak részben játszik szerepet, mégis a repülőgép bevetetősége a bizonytalanság miatt jelentősen lecsökken. A „felszínre nem került” egyéb sérüléseket valószínűsíti ugyanakkor a teherhordó elemek, segédberende-zések, szárny mechanizációk, vezetékek, stb. károsodása. (5.ábra) A megkezdett műveleteknél technikai okokból a sebességi, terhelési (fegyverzet, üzemanyag), illetve túlterhelési korláto-zások alkalmazása célszerű. A törzs borításának a sérülése a túlnyomás illetve a vegyi- bioló-giai fegyverek elleni hermetikusság elvesztésével járhat.



5.ábra. Bevetésben sérült A-10 Thunderbolt repülőgép [6]



A borítás takarásában **teherviselő elemek**, főtartók, hosszmerítők kétszerezése jelentős szerkezeti tömeg növekedéssel nem jár. A tartók számának növelésével az egy elemre eső terhelés csökken, s a szerkezeti tömeg csökkenthető. Sérülés esetén nem a teljes teherviselő elem esik ki, hanem csak egy része, így a találat elleni védetség javul. További előnyként jelentkezik, hogy a borítás terhelés hatására való hullámosodási hajlama csökken, így a terhelhetősége nő a sűrűbb merevítésnek köszönhetően. A gyártásból adódó költségnövekedés azonban hátrányként jelentkezik.

A **kormánylapok** sérülése, elvesztése érzékeny pontja a repülőgép túlélőképességének. Ha egy csűrő kormány bekötésére gondolunk, egy kormánylap két bekötési pontja esetén az egyik elvesztése a gépre nézve katasztrófális következményekkel járhat. Ennek elkerülése érdekében a kormánylapok két forgási csomópontja helyett, szerkezetileg három pont alkalmazandó. A kormánylapok fokozott védelme a másik kormánylap általi kiegyenlítésével illetve a fékszárnyak aszimmetrikus kitérítésével is elérhető. Ilyen esetekben ugyan a repülőgép harci tulajdonságai lényegesen romlanak, de kormányozhatósága részben mégis megmarad. A Szu-25 típusú repülőgép oldalkormányja például egymástól függetlenül működő, osztott szerkezetű, amely sérülés esetén a részleges vezethetőséget megtartja. (6.ábra)

További példaként szolgálhat a Saab JAS-39 Gripen számítógéppel, kormányfelületenként integráltan vezérelt kormányzási rendszere, amely 40%-os mértékű sérülésig rekonfigurálással biztosítja a vezethetőség fenntartását. [7]



6. ábra A Szu-25 függőleges vezérsík és oldalkormány konstrukciója [1]

A **kormányzás vezérlő elemei** szintén a repülőgép irányításmechanizmusának érzékeny részei. Ezen egységek például robotpilóta beépítésével részben duplikálhatóak. A párhuzamos, lényegében egymástól független kormányzásvezérlő rendszerként képesség csökkenések mellett adott esetben alkalmas arra, hogy a meghibásodott vezérlés szerepét átvegye, és a biztonságos leszállást biztosítsa. A robot pilóta numerikus adatok alapján, elektromos ellenőrző egységeken keresztül közvetlenül a kormánylapoknál avatkozik be. Ez azt jelenti, hogy a pilótát, a rudazatot, a rudazat bekötéseket, a sodrony köteleket, és a hidraulika rendszert képes korlátozásokkal pótolni.

A **hajtóművek** környezete az egyik legjelentősebb potenciális veszélyforrás. A hajtómű találat esetén a tolóerő elvesztése, csökkenése, az elektromos táplálás bizonytalanná válása, a hajtóműrobbanásból adódó egyéb károk és a tűz jelenti a legmagasabb kockázati tényezőket. Számos esetben nem is a szükséges teljesítmény, hanem a túlélőképesség növelése miatt alkalmaznak több hajtóművet. A sérüléstől való megóvás és tűzbiztonsági szempontok miatt a hajtóműveket rendszerint az érzékeny törzsből kihelyezték gondolákba, vállalva a gép szimmetriatengelyétől nagyobb távolságból adódó kormányozhatósági korlátok felerősödését és a többlet ellenállást. [8]



7. ábra. A-10 Thunderbolt és a Szu-25 Foxbat törzs-gondola kialakítása [1]

Sérülés szempontjából a legérzékenyebb és legnagyobb felületet a repülőgép **szárnya** jelenti. A tömeg és szilárdsági viszonyok miatt gyakran a szárnyban kap helyet a **tüzelőanyag**, amely a találatokkal szemben kiemelten érzékeny. A tartályok sérülése, a tüzelőanyag elfolyása, a tűz és a robbanás miatt különösen kritikus. A tüzelőanyag elfolyása ugyan szekcionálással (több egymástól elválasztott tartállyal) csökkenthető, - amely rendszer létezik a civil gépeken, és az összehasonlításban tömegnövekedést nem okoz -, de a hatótávolság csökken, a repülőgép kiegyensúlyozottsága romlik, és a manőverezési képessége is korlátozódik. A tűz és robbanás elkerülésére különböző eljárásokat használnak. A tüzelőanyag megválasztása, és adalékolása döntően meghatározó; bár a **benzin fajlagos energiasűrűsége magasabb a kerozinénál, az alacsonyabb lobbanáspont miatt viszont tűzbiztonsága lényegesen gyengébb**. A tűz kialakulásának elkerülésére a tartály üres részét esetenként semleges, égést nem tápláló gázzal töltik ki.

Többek között ezen szempontok alapján alakította ki a NATO az SFC rendszerét (**Single Fuel Concepcion** – Egységesített Üzemanyag Konceptió), amely a katonai alkalmazásban felhasznált üzemanyagok egységesítését célozza. A logisztikai szervezés megkönnyítésére legalkalmásabbnak a kerozint találták, amely manapság szinte valamennyi légi, vízi és szárazföldi jármű hajtóanyagaként szolgálhat. Széleskörű elterjedtsége, jó energiasűrűsége és tűzbiztos üzeme miatt esett rá az SFC választása. [9]

A túlélőképesség növelését, a tűzvédelmet rendszerint fedélzeti automata tűzoltórendszerrel segítik elő. Az üzemanyag tartályok védelme érdekében a páncélozás ritkán alkalmazott megoldás. A tüzelőanyag habosodásának csökkentése érdekében a tartályokat olyan porózus habbal tölthetik ki, ami kis térfogat veszteséget okoz. A folyadék tartályon belüli mozgását megakadályozza, ezzel együtt a habosodást csökkenti, a robbanásra hajlamos levegő üzemanyag keverék kialakulását javítja.

Az **elektronikai** rendszerek sérülése számos képesség csökkenéséhez vezethet, de általánosan – hajtómű szabályozó és a Fly-by-wire repülésvezérlési rendszereket kivéve – nem okoz katasztrofális meghibásodást. Ezeknek a rendszereknek az elvesztése gyakran a küldetés meghibásodásához vezet ugyan, de kiegészítő rendszerek, eljárások alkalmazása mellett a biztonságos leszállás meghibásodásuk esetén is végrehajtható. Az elektromos rendszerek – egyenáramú, különböző frekvenciájú váltóáramú hálózatok - egymás közötti átjárhatósága a polgári repülésben is gyakran a repülésbiztonság növelése érdekében kialakításra kerül.

A sérülések között szerepelhet még a **futómű rendszer** károsodása is, amely közvetlenül a feladat végrehajtást és az útvonalrepülést nem befolyásolja, viszont a leszállásnál végzetes lehet. Katonailag biztosított területen az ellenséges ellentevékenységtől védetten azonban ki lehet alakítani a kényszerleszállás körülményeit, és így a károk is jelentősen csökkenthetők.

### **Biztonságot fokozó berendezések**

A katonai repülőgépek az esetleges ellenséges behatások miatt a meghibásodásra nézve magasabb kockázati szinttel repülnek. A feladat végrehajtása során a sérülések bekövetkezésével előzetesen számolnak, és további, biztonságot fokozó berendezések beépítésével igyekeznek azok következményeit minimalizálni.

Az ellentevékenységből adódó sérülések következményeinek **csökkentésére aktív és passzív eszközöket** használnak. Az aktív eszközök közé sorolható a **katapultülés, a mentőernyő, a tűzjelző és az automata tűzoltó rendszer**. A katapultülés – a rendszer fejlettségének megfelelően - a repülőgép sebességétől, magasságától és helyzetétől függetlenül úgy lövi ki a pilótát, hogy az biztonságosan földet érhessen. Egyszerűbb változata a pilóta mentőernyője.

A polgári repülésben egyre elterjedtebb, míg a katonai felhasználásban nem ismert a teljes gépet mentő **ejtőernyő használata**.

A passzív eszközök közé a pilótát védő öltözet, a sisak, a lángálló ruházat, a kesztyű, a cipő és ellenséges területen vagy vízen a pilóta túlélését segítő felszerelések tartoznak. A passzív eszközök közé sorolható még a speciális ergonómiai kialakítás, amely a becsapódáskor a személyzetet védi, a biztonsági öv, energia elnyelő ülések, a kényszerleszállás utáni gépelhagyást könnyítő ajtók, illetve a vágási pontok. A repülőgép kényszerleszállása előtt a póttartályok, fegyver függesztmények – élesítés nélkül – eldobhatók, valamint a felesleges üzemanyag is kiengedhető.

A passzív eszközök alkalmazása a polgári repülésben szintén megjelenik a speciális ruházatot és a sisakot kivéve. A sisak használata a törzs belmagasságát növeli, amely az ellenállás, sebesség, fogyasztás összetevőket jelentősen ronthatja, sok esetben ezért a személyi állomány testmagasságát a kiválókat szűrően szigorúan behatárolják. A lángálló kesztyű alkalmazása a fedélzeti műszerrendszerek kezelőszerveit durvítja el, amely szintén méretbeli növekedést eredményezhet.

A passzív elemek közé sorolandó például az a tervezési irány is, amely a pilóta fülke tető, ajtó zárási irányát határozza meg. A polgári felhasználásban a véletlen nyílás elleni védelemként az ajtó hátra nyílik, míg a katonai felhasználásban az ajtó előre nyílása megkönnyíti vész helyzetben – földön vagy akár levegőben - a gép elhagyását.

## A CÉL ÉS FELADATRENDSZER MEGVALÓSÍTÁSA

A **polgári légijárműveknél** a tervezési koncepció a határfok - gazdaságosság – eladhatóság szempontok köré csoportosul. Ezek megvalósulása esetén a biztonság, élettartam, határfok, megjelenés, kényelem biztosítása mindenképpen jelentős tömeg növekedéssel is együtt jár. Az utazás vagy légiszállítás, mint termék eladhatósága az utazási idő csökkentésével ma már nem javítható. A polgári repülésben a fizikai törvényszerűségek miatt a repülési sebesség ésszerűen a hangsebesség alatt marad. Jelentős sebességi fejlődés e téren az elmúlt 40 évben nem is történt, sokkal inkább a költségek csökkentése, a kényelem fokozása, és a biztonság javítása volt ez idő alatt az elsődleges célkitűzés. A **hajtóművek tervezési optimalizálása is a gazdaságosság szempontjai szerint** történik.

A speciális katonai feladatok ellátásához különleges műszaki környezet is szükséges. A légifőlény megteremtéséhez például az elfogó vadászrepülőgépek **magas sebesség tartományú** repülése elengedhetetlen, amely a repülőgép kialakítását is alapvetően meghatározza. A hajtóművek a teljesítménynek megfelelően optimalizáltak, a sárkányszerkezet aerodinamikai és szerkezeti kialakítása pedig lehetővé teszi a hangsebesség átlépését. A tervezői koncepció részeként meghatározandó, hogy a radar felderítés elleni védetség szerkezeti konstrukciója mennyire legyen fontos szempont a sebesség - üzemanyag fogyasztás - hatótávolság hármashoz képest. A lopakodó (stealth) technológia például – ezen ismertetett szempontok figyelembevételével - gyakran a kedvező aerodinamikai és hajtómű kialakítás rovására kerül kialakításra.

A repülőgépek túlterhelésre méretezését ugyanakkor a biztonság, a hatósági előírások és a felhasználhatóság elsődleges szempontjai szabják meg. Polgári repülőgépek esetében a fordulókból adódó terhelés, a biztonság, a szállókések, és a turbulencia okozta veszélyek csökkentése jelentik az elsődleges szempontokat. Speciális esetekben a sportrepülőgépek műrepülhetősége jelenti a korlátot.

A vadász repülőgépeknél ezzel szemben a szerkezeti kialakítás a **pilóta által elviselhető maximális terhelési többszörös értékére méretezett**. A sport műrepülő gépek és a vadászgépek között különbségként jelenik meg a maximális terhelés időtartama. A sportrepülőök esetében ez néhány másodperc, míg a harci repülőgépek esetében ennek többszöröséről beszélhetünk. A repülőgép szerkezete szempontjából ez nem jelentős eltérés, de a fedélzeten plusz berendezések beépítését igényli. A terhelési többszörös magas értéke lehetővé teszi a légi harc hatékony megvívását más repülőgépekkel szemben, az ellenséges tűz manőverezéssel való elhárítását, hirtelen, kiszámíthatatlan irányváltások végrehajtását. Kiegészítő berendezésekkel ugyanakkor – G-ruha, fedélzeti oxigén rendszer, az ülés ergonómikus kialakítása – tovább javítható a pilóta terhelhetősége (maximális G érték illetve elviselésének időtartama). Itt jegyzendő meg, hogy a katonai légijárművek oxigén ellátása, illetve a kabin túlnyomásossága az alacsonyabb komfort fokozat és a jobb humán felkészültség miatt jóval kedvezőtlenebb a polgári repülőgépekhez képest. Ez a kedvezőtlenebb kialakítás ugyanakkor jelentős tömeg megtakarítással jár. [10]

### Leszállóhelyek

A hadi célú alkalmazás egyik kulcskérdése a logisztika és a légiszállítás, hiszen a műveletek többsége változó, stratégiaileg meghatározott területen zajlik. **Gyorsaságuk és rugalmassá-**

**guk miatt a légi járművek lehetőségeinek kihasználása kézenfekvő.** A technikai fejlesztések ezen szempontok kielégítését tartják szem előtt, amikor a **repülőteret nem igénylő** eszközöket helyezik előtérbe.

A repülőterek területi kötöttségük és nagy értéksűrűségük – védhetőségük miatt korlátozott felhasználást engednek háborús környezetben. A **repülőtéren kívüli alkalmazás** elterjedése miatt a **VTOL** (Vertical Take Off and Landing – Függőleges fel- és leszállás) és a **STOL** (Short Take Off and Landing – Rövid nekifutású fel- és leszállás) képességek igénye figyelhető meg. Az aszimmetrikus hadviselés elterjedésével alapvetően a helikopterek alkalmazására gondolunk, de emellett léteznek egyéb eszközök is. A helikopter negatív tulajdonságait (alacsony sebesség, fajlagosan magas fogyasztás – drága üzemeltetés) ellensúlyozandó, több olyan repülőgép vagy kiegészítő berendezés, fejlesztés létezik, amely kis felszállási területet igényel, illetve közutakat is képes fel- és leszállásra használni. A II. világháború óta az autópálya szükségrepülőterek és a SAAB repülőgépek által aszfalt utakra optimalizált eljárások az ezirányú jövőbeni fejlesztésekhez is teret biztosítanak.

A repülőtéren kívüli alkalmazás ugyanakkor számos különleges kialakítást igényel; így különösen a gyenge talajminőség például erősebb futóművet kíván, míg keskeny utak felhasználása esetén a pontosabb iránytartás érdekében jobb kabin kilátás, robotpilóta, érzékenyebb oldalkormány rendszer szükséges. A leszállásból való elpattanás ellen interceptorok alkalmazására kerül sor, a leszálló út túlzott rövidege pedig a törzsféklap, a fékernyő, a sugárfék, a légcsavar reverz, illetve a leszállási sebesség csökkentése különböző szárnymechanizációk alkalmazását igénylik.

Megjegyzendő, hogy bár a polgári repülőgépeknél is létezik a hajtóműveken sugárfék illetve légcsavar reverz, azonban ezek légi alkalmazása nem indokolt, így az ehhez kötődő minimális technikai plusz tömeg növekedés is elkerülhetővé válik. Katonai alkalmazásban ugyanakkor a manőverezés javítása és a meredek leszállási süllyedő profil miatt ezek előnyös felszerelések, fejlesztések lehetnek. (A C-17 Globemaster esetében mindez 17.000 feet/minutes, azaz 85m/s függőleges sebességet jelent, amely a szabadon eső ejtőernyős sebességénél másfélszer gyorsabb, így adott esetben, egy ellenséges tűz alól igen gyorsan képes kikerülni.) A felszállási úthossz csökkentésére szárnymechanizációkat, (fékszárny, orrsegédszárny) starttrakétákat használhatnak.

A repülőtéren kívüli üzemelés a kiszolgáló egységek számára is igen komoly előzetes felkészülést igényel. A kitelepítendő eszközök tömege, térfogata, mennyisége természetesen a legkisebbre szorítandó. Lehetőség szerint minél kevesebb jármű felhasználásával kell megoldani az üzemanyag, fegyver, elektromos, és oxigén ellátási-, valamint a területbiztosítási, repülés irányítási képességet.

A különböző leszállóhelyek és a külső egységektől való függőség csökkentése érdekében továbbá speciális fedélzeti navigációs berendezések is szükségesek. **Autonóm navigációs berendezésekkel**, rossz időjárási viszonyok között is képes egy katonai repülőgép idegen és minimálisan előkészített területen, külső segítség nélkül leszállást végrehajtani. Ezek a rendszerek a polgári és katonai repülésben egyaránt felhasználhatóak. [11]

A szállítandó **deszant kirakásához tehertér ajtó**, valamint ki- berakodást segítő berendezések szükségesek. Az ellenséges területen folytatott műveletek továbbá jelentős szállítási infrastruktúrát is igényelnek, így a légi teherszállítás, személyszállítás, műveleti utánpótlás szállítása egyre nagyobb teret kap. A szállítás alapfeltételeként a törzsben kialakított, jól felhasználható rakodó terület szolgál, amely egybefüggő görgős szállítószalag padlózatával, és konténer rendszerű tárolásával segíti a minél szélesebb körű felhasználást. Ez a szállítási környezet a polgári repülésben szükség esetén szintén elérhető. A teher kirakódása a civil reptereken jól kiépített infrastruktúrával történik, míg háborús alkalmazáskor ennek lehetősége sokszor egyáltalán nem biztosított.

A polgári repülésben rendszerint az oldalajtókat használják a személy- és teher forgalom ki- és beszállásra, berakodására. Az oldalajtók azonban szűk méretük miatt a nagyobb méretű és gyorsabb rakodásra, vagy deszantolásra nem, vagy csak korlátozásokkal alkalmasak. (8.ábra) Megoldásként adódik ugyanakkor a rámpa használata, amivel gyorsan, külső segítség nélkül is elvégezhető a kirakás akár a levegőből is. Erre már külön harceljárások is kialakultak. Az amerikai módszer szerint, a célterületen nyitott rámpaajtóval, néhány méter magasságú alacsony sebességű áthúzásnál, a deszantot egy lassító ernyővel **kicsúsztatják**. Az orosz eljárás ugyanakkor a nagyobb magasságú ejtőernyős kijuttatást alkalmazza, amely segítségével a repülőgépből harcokcsikat akár személyzettel együtt tudtak a célterületre juttatni. A földet érés sebességét az orosz haditechnikában ejtőernyővel, közvetlenül előtte pedig fékezórakétákkal csökkentették, az emberi test számára is elfogadható mértékű sebesség elérése érdekében. [12]



8. ábra C-130, An-124, Mi-171, CH-47, Szu-80 rámpa megoldásai [1]

A polgári felhasználásban is találkozunk ugyanakkor rámpás megoldásokkal. A Szu-80-as típusjelzésű repülőgép például polgári felhasználású, azonban sok szempontból mégis a szovjet ipar félkatonai felhasználását idézi. A személyszállításra is alkalmas utastér rámpás kialakításával akár egy személyautó szállítására is alkalmassá tehető (8. ábra).

A tehertéren kívüli szállításnak gyakran alkalmazott módja a szárny és törzs alá függesztményként erősített konténerek. Ezekre a függesztési pontokra igény szerint rögzíthetők üzemanyag tartályok, felderítő konténerek, irányított és nem irányított rakéták, géppuska konténerek, és bombák is. Szerkezeti kialakításban ugyanakkor ezek jelentős változtatást nem igényelnek, hiszen egy már meglévő megerősített törzskerettel, bordával ezek a bekötések megoldhatóak.

## A KATONAI ÉS POLGÁRI TERVEZÉSI KÜLÖNBSÉGEKBŐL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

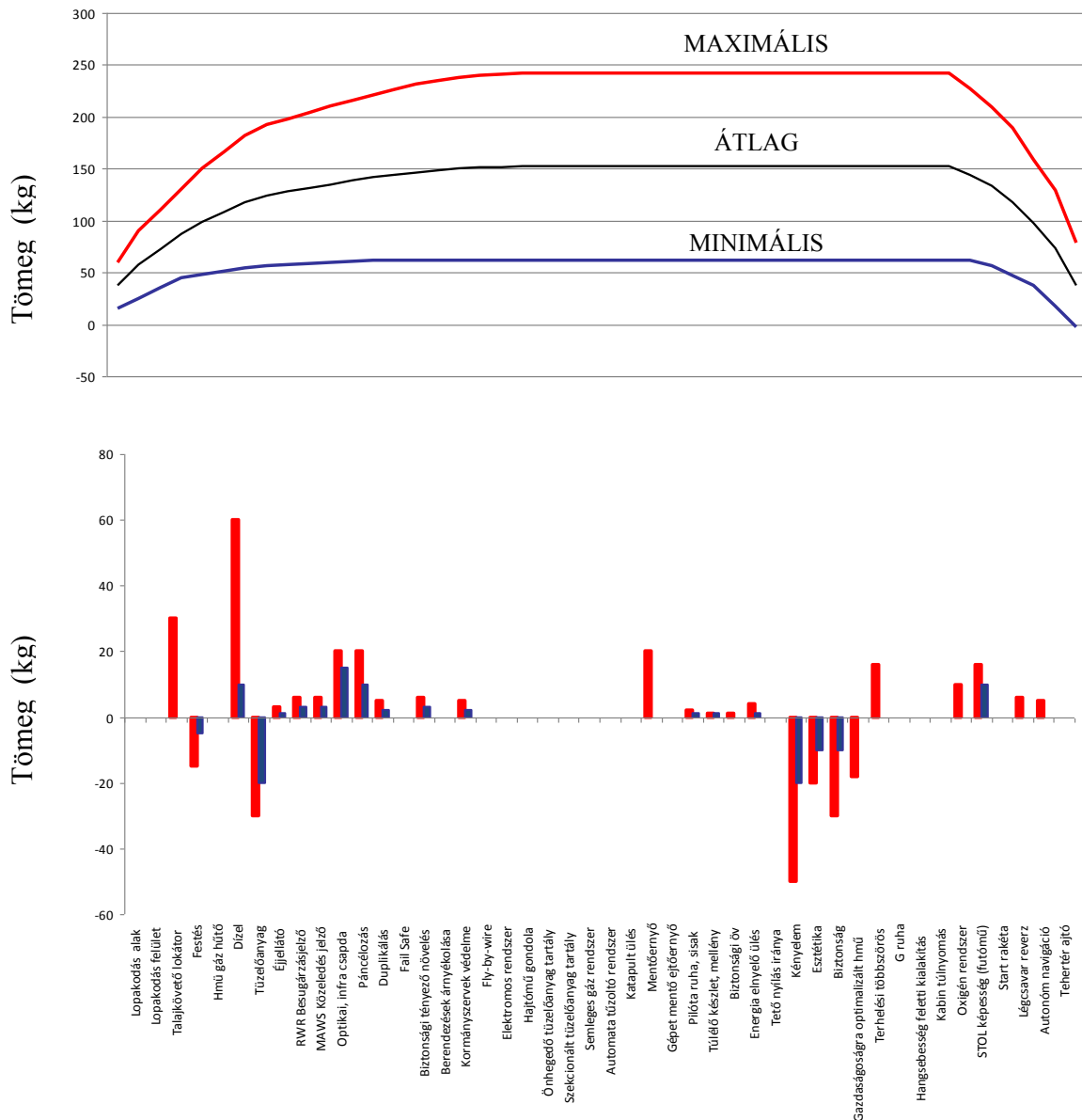
A katonai és polgári légijárművek tervezését illetően jelentős különbségeket nem tudunk felfedezni. Azonos fizikai törvényszerűségek alapján, azonos szerkezeti megoldásokból gazdálkodva, illetve azonos szakmai ismereteket felhasználva alakítanak ki repülő szerkezeteket. A méretezés is azonos eljárás szerint történik, azonos számítógépes programok felhasználásával. A tervezés során megegyezik mind a súly- és stabilitás számítás, mind a teljesítmény számítás, mind a szilárdsági számítások, illetve a szerkezeti elemek méretezése is azonos.

Azonos anyagokat, és ugyanazt a gyártás technológiát kell alkalmazni mindkét fajta repülő tervezésekor. Hasonlatos aerodinamikai összefüggéseket, és a gyártástechnológiában, minőségbiztosításban, üzemeltetésben azonos rendszereket ismernek, és használnak. A termékfejlesztési lánc mindkét esetben azonos K+F metódusokat követ.

Különbségként említhető azonban a speciális alkalmazási környezet, és az ellentévekenységből, valamint a feladat rendszerből adódó tervezési, konstrukciós eltérések.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a **katonai és polgári repülőgépek tervezési szisztémája azonos alapokra épül**, azonos számítási metódus mellett ugyanakkor különböző szempontok szerint optimalizálnak, és azonos tervezési elemekből felépülő, de különböző konstrukciók alkalmazásán keresztül érik el az adott speciális tervezési célkitűzéseket.

Megállapítható továbbá az is, hogy a katonai légijárművek a polgári gépekhez képest tágabb feladatkört, azonos tömeg vagy minimális, néhány százalékos tömegnövekedés mellett képesek megoldani.



9. ábra Speciális katonai viszonyokat kiszolgáló berendezések tömegviszonyai könnyű, többcélú repülőgép esetén

A 9. ábra alapján látható, hogy egy 2500 kg maximális felszálló tömegű, könnyű, többcélú repülőgép esetén, hogyan alakulnak a speciális katonai viszonyokat kiszolgáló berendezések tömegváltozásai. A kategóriának megfelelően több berendezés felhasználása indokolatlan, így ezek többlet tömegnövekedést nem okoznak. A felső görbék a tömeg adatok halmozásával készültek. Konkrét konstrukció hiányában a változás adatai egyelőre becsltek, maximum (piros) és minimum (kék) értékek alapján készült a behatárolás, míg az átlag értéket a fekete szín jelöli. A függőleges tengelyen pozitív irányban a katonai alkalmazás miatti tömegnövekedés, míg negatív irányba a „polgári igények hiányában” a megtakarítások kerültek a diagramra. Megállapítható ebből, hogy az előnyök és hátrányok kiegyenlítik egymást, és alig néhány százalék (átlagos számítás szerint 1,4%, minimum és maximum értéke a -0,4% és 3% ) tömegnövekedést jelentenek. **Ebből következőleg kimondható, hogy egy civil és katonai célra vegyesen felhasználható repülőgép kialakítása a katonai és polgári feladatkö-**



**rök együttes kielégítésére való képesség megléte esetén sem jár jelentős plusz tömeg növekedéssel.**

A fejlesztési költségek azonban a többlet tervezési- és kísérleti feladatok miatt magasabbak lehetnek. A költségnövekedés egy gépre vonatkoztatott értéke ugyanakkor alapvetően a legyártott darabszámtól függ. A darabszám, és ezáltal a gépre vonatkoztatott fejlesztési költség mindenképp kedvezőnek mutatkozik olyan esetekben, amikor egy adott repülőgépet polgári és katonai feladatokra is egyaránt fel tudnak használni.

Visszaulva a bevezetőben definiált felfegyverzett repülőgép gondolatára, ahol a polgári célú tervezés után alakították a repülőgépet korlátozott képességekkel katonáivá, ebben az esetben is életképes lehet egy katonai fejlesztésű gépet katonai és civil feladatokra használni.

További költség optimalizálási lehetőséget biztosít a feladat centrikus kialakítás, ahol adott feladatoknak megfelelően, úgynevezett konténer rendszerben csak az adott képességhez szükséges eszközöket hordozza a repülőgép. Az aktuális feladathoz mindig hozzáigazítható a felszereltség, amely lehet deszant szállító, felderítő, tüztámogató vagy akár polgári teher és személyszállítás is.

A fenti elemzésből összegzésként levonható tanulság ugyanakkor az is, hogy a **tervezésnél tudatosan már előre kialakított speciális funkciók, berendezés elhelyezések, jóval kedvezőbb viszonyokat teremtenek általában, mint az utólag beépített elemek, eszközök.** Mindenestre a tervezés során a későbbi fejlődési irányok előzetes prognosztizálása, illetve tudatos felkészülés egy majdani kiegészítő fejlesztésre, szintén nagyon kedvező alkalmazási feltételeket teremthet az újonnan kialakítandó repülőgépek számára.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.airliners.net> (2011.11.23. 18:00)
- [2] Dr ÓVÁRI Gyula: Felderíthetőség előadás e-dok.
- [3] Dr ÓVÁRI Gyula: BIZTONSÁG- ÉS REPÜLÉSTECHNIKAI MEGOLDÁSOK KATONAI HELIKOPTEREK HARCÍ TÚLÉLŐKÉPESSÉGÉNEK JAVÍTÁSÁRA  
[http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005\\_cikkek/ovari\\_gyula.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/ovari_gyula.pdf) (2012.01.10. 20:00)
- [4] BRODSZKY Dezső: Repülőgép hajtóművek, Tankönyvkiadó Budapest, 1952
- [5] PÁSZTOR – SZOBOSZLAI: Kalorikus gépek üzeme, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1967
- [6] <http://www.hightech-edge.com/general-electrics-a-10-30mm-gatlin-gun/9381/> (2011.11.23. 18:00)
- [7] PETÁK György – SZABÓ József: A gripen, Petit Real könyvkiadó Budapest, 2003
- [8] HENNEL Sándor: Repülőgép sárkány- és rendszer ismeret I. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980
- [9] SFC Single Fuel Conception NATO STANAG 4362
- [10] RÁCZ Elemér: Repülőgéptervezés, Tankönyvkiadó, Budapest 1955
- [11] HENNEL Sándor: Légi járművek repülőtéren kívüli szükségesszállóhelyeinek harcászati korlátai, alkalmazhatósága, kialakulásának körülményei Repüléstudományi Konferencia 2010
- [12] TURCSÁNYI Károly – HEGEDŰS Ernő: Légideszant II., Püedlo Kiadó ISBN: 978 963 249 124 0
- [13] HENNEL Sándor: Repülőgép sárkány- és rendszer ismeret III. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- [14] ÓVÁRI Gyula: A légijárművek gazdaságosságát és manőverezőképességét javító sárkányszerkezeti megoldások, Magyar Honvédség Kilián György Repülő Műszaki Főiskola 1990
- [15] A légierő fejlesztése Tanulmánygyűjtemény Válogatás a Honvédelmi Minisztérium 1997. évi jubileumi pályázatának díjazott műveiből, Budapest, 1997
- [16] RÁCZ Elemér: A repülés mechanikája, Tankönyvkiadó, Budapest 1953