

Gácsér Vera¹ – Molnár Ágnes²

STABIL IDŐJÁRÁSI HELYZETEK HATÁSA A BUDAPESTI LEVEGŐMINŐSÉGRE³

A légköri stabilitás kedvezőtlen hatással van a levegő minőségére, mivel mind a horizontális, mind a vertikális mozgásokat akadályozza. Kárpát-medencében stabil légrétegződést eredményező anticiklonális helyzetek télen is nyáron gyakran fordulnak elő. Vizsgálataink azt mutatják, hogy télen a NO₂ és a PM₁₀ koncentrációja követi leginkább az időjárás változásait. A téli stabil helyzetekben, amikor az ún. hidegpárnás helyzet akár tartósan fennmaradhat, az NO₂ és a PM₁₀ koncentrációja jelentősen megnő, és ezzel párhuzamosan romlanak a látási viszonyok. Nyáron a PM₁₀ mellett az ózon koncentrációjának növekedése meghatározó, amely a fotokémiai szmog képződésére utal. A vizsgálatok során az ózon koncentráció és a hőmérséklet között rendkívül erős korrelációt találtunk, ami megerősítette azt a feltevést, hogy a nyári időszakban a légszennyezetségi epizódok általában a hőhullámokhoz kapcsolódnak, melyek előfordulási valószínűsége éghajlatunk változásával már napjainkban is növekvő tendenciát mutat.

THE IMPACT OF STABIL WEATHER SITUATIONS ON AIR QUALITY IN BUDAPEST

Atmospheric stability has an unfavourable effect on the air quality due to hindering both vertical and horizontal movements in the air. High pressure weather systems which bring typical stable situation occur frequently in the Carpathian Basin both in summer and in winter. Our results showed that in winter mainly NO₂ and PM₁₀ concentrations follow the changes of weather conditions. In stable weather situation when low-level inversion can become persistent their concentration increases significantly while contemporaneously the visibility decreases. In summer beside the increasing PM₁₀ the elevated concentration of ozone – which indicates the development of photochemical smog - is also momentous. We have found strong correlation between ozone concentration and temperature which further supports that the air pollution episodes are frequently related to heat-waves. On the basis of long term data analysis more hot days, longer heat-waves can already be registered in Hungary.

BEVEZETÉS

Régóta ismert tény, hogy a légköri stabilitás nagymértékben befolyásolja a különböző légköri szennyezőanyagok koncentrációjának alakulását, mivel mind az advekciót, mind a keveredést gátolja a levegőben. A Kárpát-medencében magasnyomású légköri rendszerek, amelyek rendszerint stabil légrétegződést eredményeznek, a téli és a nyári időszakban egyaránt gyakran előfordulnak.

Amikor télen magasnyomás épül fel a Kárpát-medence felett, rendszerint alacsonyszintű inverzió alakul ki, illetve köd képződik, amely akár tartósan fennmaradhat. Ennek megfelelően jelentősen romlanak a látási viszonyok, és egyes légszennyező anyagok (PM₁₀, NO₂, SO₂, korom stb.) koncentrációja erőteljesen növekszik. Ez az ún. hidegpárnás helyzet a földrajzi adottságok miatt is könnyen kialakulhat, és hosszabb ideig fennállhat. Anticiklon hatására nyáron is kialakulhat stabil légrétegződés, amikor az erős besugárzás és a magas hőmérséklet hatására intenzív

¹ Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Intézet, gacserv@mk.uni-pannon.hu

² MTA-PE, Levegőkémiai Kutatócsoport, amolnar@almos.uni-pannon.hu

³ Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu



fotokémiai reakciók indulnak meg a troposzféra alsó rétegeiben. Ekkor az ózon nagy koncentrációja, valamint a csökkenő látótávolság is a fotokémiai szmog képződésére utalnak. Ilyen légszennyeződési epizódok rendszerint száraz és forró időszakokban jelentkeznek, amelyek általában hőhullámokhoz kapcsolódnak.

Hazánk területén a több mint 110 éves adatsorok elemzése alapján már az utóbbi évtizedekben is egyre több forró napot, egyre hosszabb hőhullámokat, illetve csapadékmentes időszakokat regisztrálhattunk [1][2]. Emellett az éghajlati szimulációk is szárazabbá váló éghajlatot, valamint a hőmérsékleti szélsőségek gyakoribbá válását jelzik térségünkben [3][4]. Ezzel összhangban pedig a nyári légszennyezettségi epizódok is gyakrabban fordulhatnak elő.

CÉLKITŰZÉSEK

Munkánk célja annak tanulmányozása volt, hogy a stabil időjárási helyzetek hogyan vezetnek extrém légszennyezettségi epizódok kialakulásához. Ennek érdekében vizsgáltuk az egyes légköri szennyezőanyagok (PM10, SO₂, NO₂, O₃) koncentrációjának időbeli változását, majd összehasonlítottuk a látótávolság, a relatív nedvesség, a hőmérséklet, a szélesebbesség, a légnyomás változásának időbeni menetével, és elemeztük az egyes epizódokhoz tartozó szinoptikus időjárási helyzetet. Emellett különböző módszerekkel becsültük az aeroszol részecskék extinkciós együtthatóját környezeti és száraz levegőre vonatkozóan, majd korreláció vizsgálatokat végeztünk a légköri szennyezőanyagok koncentrációja és a különböző meteorológiai paraméterek, illetve az aeroszol extinkció között.

ADATOK ÉS ELEMZÉSEK

Munkánk során Budapest levegőminőségét és időjárását tanulmányoztuk 2010 telén (január-február), valamint 2012 nyarán (június-július) a Marcell György Főobszervatórium légszennyezettségi és meteorológiai adatai alapján. Az óránkénti PM10, SO₂, NO₂ és O₃ koncentráció mérések adatsorai az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat honlapján érhetők el [5]. A PM10, a NO₂, az SO₂ és az O₃ koncentrációját rendre β-sugárzási abszorpció, kemilumineszcencia, UV fluoreszcencia és UV fotometria alapján határozták meg.

A különböző meteorológiai paraméterek (hőmérséklet, látótávolság, relatív nedvesség, szél, légnyomás, stb.) óránkénti adatsorai a NOAA adatbázisából (Integrated Surface Hourly Observations, NOAA National Data Center) származnak [6]. Az időjárási helyzet tanulmányozásához az Országos Meteorológiai Szolgálat szinoptikusai által analizált időjárási térképeket és az általuk készített időjárási helyzetleírásokat, elemzéseket is felhasználtunk [7].

Az aeroszol részecskék okozta fénygyengítés vizsgálatához első lépésben a környezeti extinkciós együttható értékeit határoztuk meg az óránkénti látótávolság adatokból (VSB) a Koschmieder-formula (1) segítségével:

$$\sigma_e = \frac{3,912}{VSB}. \quad (1)$$

Az így kapott extinkciós együtthatók (σ_e) azonban még tartalmazzák a környezeti relatív nedvesség „zavaró” hatását [8][9][10][11], melynek kiszűréséhez az ún. higroszkópos növekedési faktor (f) ismerete szükséges. Ezért második lépésben a gamma-módszerrel [12], a látótávolság és relatívnedvesség adatok felhasználásával, kiszámítottuk az aktuális nedvességtartalomra, illetve a száraz levegőre vonatkoztatott extinkciós együtthatót:

$$\sigma_e = 10^c \times \left(1 - \frac{RH(\%)}{100}\right)^{-\gamma} \quad (2)$$

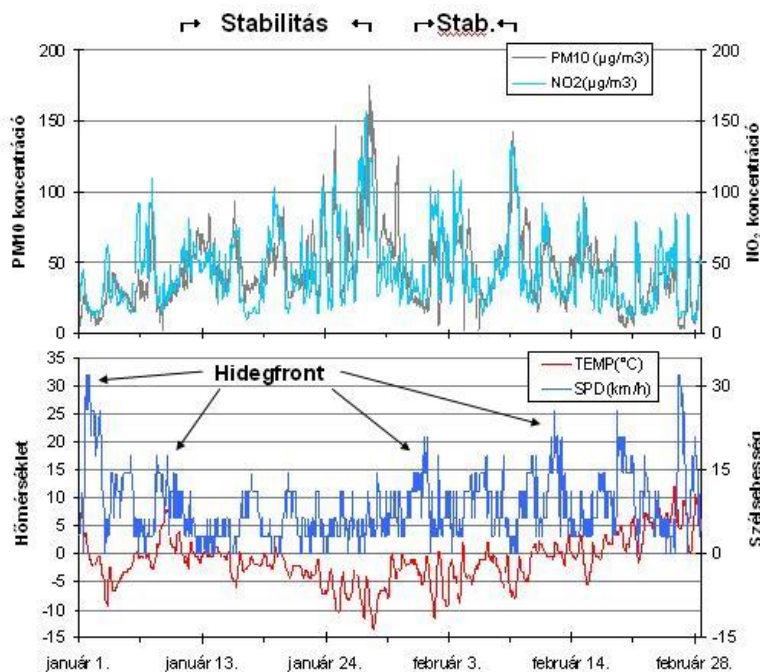
Az így kapott környezeti és száraz extinkciós együttható hányadosa megadja a higroszkópos növekedési faktor értékét (3), aminek segítségével meghatározhatjuk az első lépésben megkapott környezeti extinkciós együtthatóból a száraz levegőre vonatkoztatott, a látótávolság adatokból származtatott extinkciós együttható értékét órás időlépcsőben.

$$f = \frac{\sigma_e(RH)_{\text{könyezeti}}}{\sigma_e(RH)_{\text{száraz}}} \quad (3)$$

EREDMÉNYEK

Téli időszak (2010)

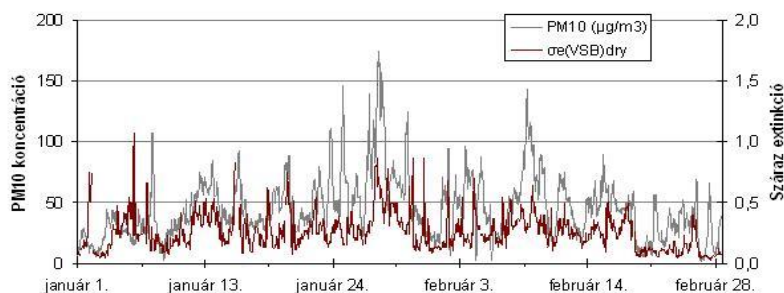
A légköri szennyezőanyagok koncentrációjának vizsgálata azt mutatta, hogy a téli időszakban a PM10 és a NO₂ koncentrációja követi leginkább az időjárási helyzet változásait (1. ábra).



1. ábra A PM10 és NO₂ koncentráció, valamint a hőmérséklet és a sebesség időbeli változása Budapesten, 2010. január-február hónapokban.

Stabil időjárási helyzetben a hőmérséklet csökkenése, és a gyenge légmozgás mutatja a sekély inverzió kialakulását, melynek következtében mindkét szennyezőanyag koncentrációja jelentősen megnőtt. A PM10 koncentrációja időnként a 24 órás egészségügyi határértéket ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

is meghaladta. Az ábrán megfigyelhető, hogy a NO₂ koncentrációja érzékenyen reagál a légmozgás változására, már rövid idejű szélélénkülés is számottevő koncentráció csökkenést okoz. A hidegfront betöréseket, amelyek a szél ugrásszerű erősödésével és a hőmérséklet hirtelen csökkenésével járnak, a NO₂ és a PM10 mennyiségének változása is jól követi. A PM10 koncentráció és a száraz extinkciós együttható időbeli menetének összehasonlítása (2. ábra) is az értékek párhuzamos változását mutatja. A PM10 és a száraz extinkciós együttható között szignifikáns ($p < 0,001$) kapcsolat mutatható ki ($r = 0,476$). Mindez azt jelzi, hogy a látótávolság, illetve a száraz extinkciós együttható értéke is alapvetően a PM10 koncentráció függvénye.



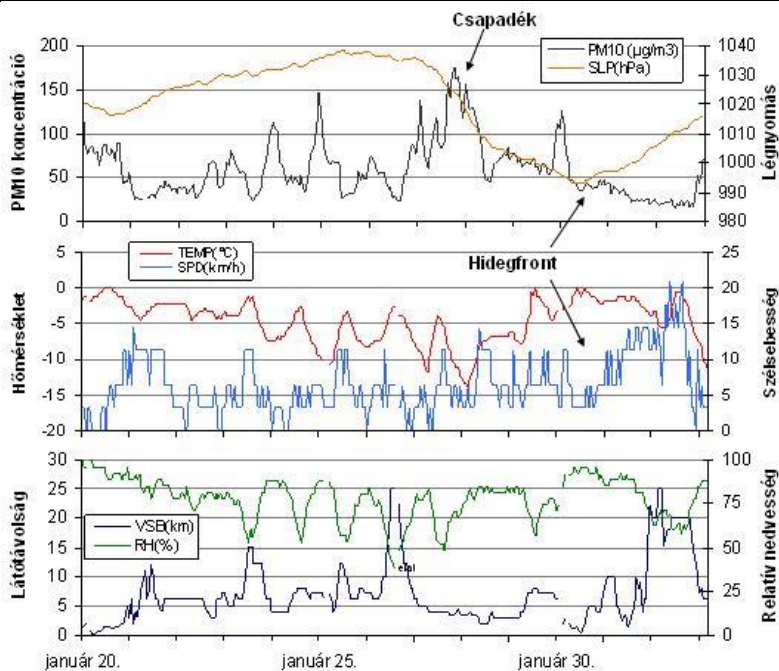
2. ábra A PM10 koncentráció és a száraz extinkciós együttható időbeli változása Budapesten, 2010. január-február hónapokban.

A PM10 és a száraz extinkció mellett, a különböző meteorológiai paraméterek és a légköri nyomanyagok közötti statisztikai kapcsolatot is vizsgáltuk (1. táblázat). Megállapítottuk, hogy a PM10 koncentrációja fordítottan arányos a hőmérséklettel ($r = -0,532$; $p < 0,001$) és a szélességgel ($r = -0,418$; $p < 0,001$). A száraz extinkció a PM10-en kívül a kén-dioxid koncentrációjával van kapcsolatban. Ennek magyarázata az, hogy a kén-dioxid az aeroszol részecskékben megtalálható szulfátvegyületek elővegyülete.

Korreláció	Látótávolság	Száraz extinkció	Hőmérséklet	Rel. nedvesség	Szélesség
SO ₂ (µg/m ³)	-0,123	0,384	-0,192	-0,244	-0,015
NO ₂ (µg/m ³)	-0,238	0,174	-0,414	0,100	-0,511
O ₃ (µg/m ³)	0,189	0,023	0,116	-0,400	0,390
PM10 (µg/m ³)	-0,427	0,476	-0,532	0,028	-0,418

1. táblázat Egyes légszennyező anyagok és meteorológiai paraméterek, illetve a száraz extinkciós együttható közötti korreláció értékei Budapesten, 2010. január-február hónapokban (a kiemelt értékek $p < 0,001$ szinten szignifikánsak)

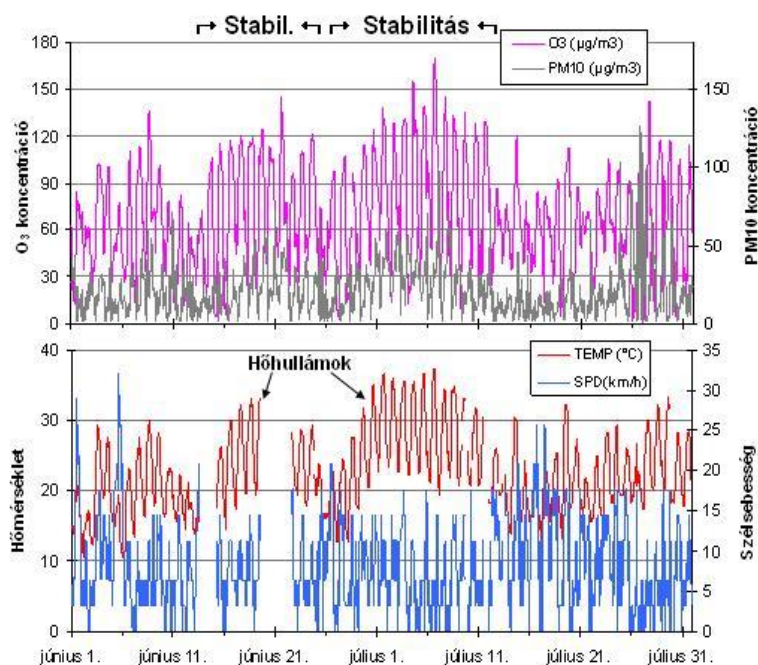
Egy 15 napos időszakot kiemelve esettanulmányt is végeztünk, amelyből jól látszik, hogy amikor anticiklon épül ki térségünk felett, a légnyomás emelkedésével párhuzamosan növekszik a PM10 koncentráció (3. ábra). Ezzel együtt a hőmérséklet csökkenő tendenciát mutat, ami ugyancsak a hidegpárna kiépülésére utal. Gyenge légmozgás, és magas páratartalom jellemzi az időszakot. Csupán a déli órákra csökken a relatív nedvesség, és ekkor javulnak átmenetileg a látási viszonyok. A PM10 mennyisége a csapadék érkezésekor kezd csökkenni, de jelentős és tartós koncentráció csökkenést a hidegfronthoz kapcsolódó markáns szelerősödés hoz, amikor részlege vagy teljes légtömegcsere történik. A hőmérséklet emelkedése jól mutatja a hidegpárna felszakadását, és ezzel párhuzamosan megfigyelhető a látótávolság jelentős növekedése.



3. ábra A PM10 koncentráció és egyes meteorológiai paraméterek alakulása Budapesten, 2010. január 20. és február 4. között.

Nyári időszak (2012)

A nyári időszakban a PM10 mellett a troposzférikus ózon koncentrációjának alakulása érdemel külön figyelmet. E két mennyiség többnyire párhuzamosan változik, és főként az

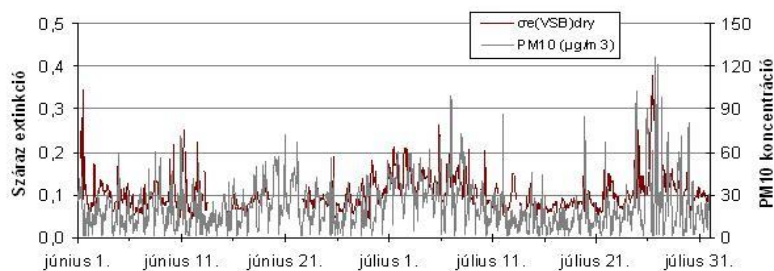


4. ábra A PM10 és O₃ koncentráció, valamint a hőmérséklet és a szélsebesség időbeli változása Budapesten, 2012. június-július hónapokban.

ózon koncentráció időbeli menete mutat erős kapcsolatot a hőmérséklet változásával. Az 4. ábrán jól látszik, hogy a stabil időjárási helyzetekben, amikor a hőmérséklet napról-napra egyre

magasabbra emelkedik, az ózon koncentráció is egyre magasabb értékeket ér el, és esetenként a 24 órás egészségügyi határértéket ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) is meghaladja. A stabil légrétegződés következtében ezekben az időszakokban jellemzően gyenge a légmozgás. A szélerosódással és átmeneti hőmérséklet-, illetve ózon koncentráció-csökkenéssel járó hidegfront átvonulások jól nyomon követhetők.

A száraz extinkciós együttható és a PM10 koncentráció időbeli alakulása (5. ábra) a nyári időszakban is összhangban van, az értékek többnyire egyirányban változnak. A korreláció vizsgálat szerint a látótávolság és a száraz extinkció nyáron is elsősorban a PM10 koncentráció függvénye.



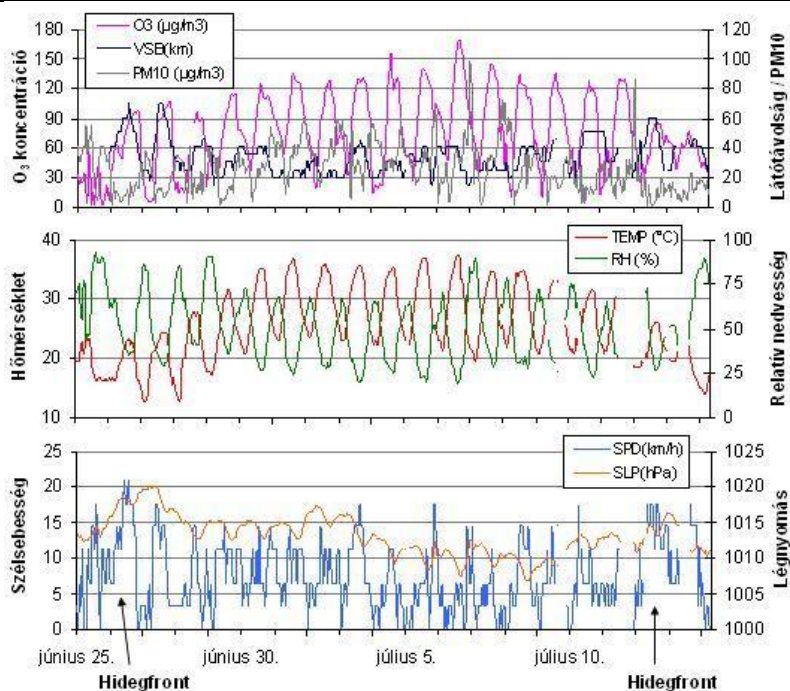
5. ábra A száraz extinkciós együttható és a PM10 koncentráció időbeli változása Budapesten, 2012. június-július hónapokban

A 2. táblázatból azonban kitűnik, hogy a troposzférikus ózon koncentrációja kiemelkedően erős lineáris összefüggést ($r=0,727$; $p<0,001$) mutat a hőmérséklettel, illetve erős inverz kapcsolatot a páratartalommal ($r=-0,709$; $p<0,001$). Ennek következtében jelentős szerepet játszik a látási viszonyok alakulásában. Ugyanis a száraz, erős besugárzással és magas hőmérséklettel járó időszakokban kedvezőek a feltételek az intenzív fotokémiai folyamatok lejátszódásához, amelyek legközismertebb következménye a megnövekedett ózon koncentráció.

Korreláció	Látótávolság	Száraz extinkció	Hőmérséklet	Rel. nedvesség	Szélesebbség
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,029	0,186	0,437	-0,378	0,088
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	-	-	-	-
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,303	0,068	0,727	-0,709	0,243
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-0,417	0,295	0,031	0,234	-0,281

2. táblázat Egyes légszennyező anyagok és meteorológiai paraméterek, illetve a száraz extinkciós együttható közötti korreláció értékei Budapesten, 2012. június-július hónapokban (a kiemelt értékek $p<0,001$ szinten szignifikánsak)

A nyári vizsgálatoknál is kiemeltünk egy rövidebb időszakot további elemzés céljából. Ez a június 25. és július 14. közötti időszak magába foglalja a 2012-es nyár második hőhullámát. A 6. ábrason jól nyomon követhető a hőmérséklet és ezzel párhuzamosan az ózon koncentráció emelkedése, valamint a relatív nedvesség ellentétes irányú változása. A troposzférikus ózon mennyiségének növekedése mellett a PM10 koncentráció emelkedése is megfigyelhető, és ezzel összhangban a látótávolság csökkenése. A hidegfront átvonulás frissítő hatása nem csak a hőmérséklet menetében, hanem a PM10 és az ózon koncentrációjának csökkenésében is megmutatkozik



6.ábra A PM10 koncentráció és egyes meteorológiai paraméterek alakulása Budapesten, 2010. június 25. és július 4. között

ÖSSZEGZÉS

Vizsgálataink azt mutatják, hogy a téli időszakokban leginkább a PM10 és a NO₂ koncentrációja követi az időjárási helyzet változásait. Az anticiklon kiépülésével fokozatosan növekszik koncentrációjuk, és elsősorban a PM10 esetében pár nap alatt át is lépheti az egészségügyi határértéket. Ezzel párhuzamosan nő az aeroszol extinkció és csökken a látótávolság is. A korreláció-számítások kimutatták, hogy a PM10 koncentráció szoros inverz kapcsolatban van a hőmérséklettel és a szélesebséggel. Ezzel összhangban a levegőminőség, a látótávolság és a hőmérséklet alakulásában rendszerint csak markáns hidegfront hozhat pozitív változást.

A PM10 koncentráció nyáron is jól követi az időjárás változását, és jelentős részben meghatározza a látótávolságot. Ugyanakkor a stabil időjárási helyzetekben nyáron a PM10 mellett az ózon koncentráció is jelentősen nő. Mivel a troposzférikus ózon mennyisége rendkívül erős összefüggést mutat a hőmérséklettel, és inverz kapcsolatot a relatív nedvességgel, a hőhullámok idején koncentrációja gyakran átlépi az egészségügyi határértéket. Ez azt jelenti, hogy a nyári időszakban az extrém hőmérsékleti és légszennyezettségi epizódok rendszerint összekapcsolódnak, így a növekvő gyakorisággal jelentkező hőhullámok nagy valószínűséggel a légszennyezettség miatt is fokozott megterhelést rónak az emberi szervezetre.

Köszönetnyilvánítás

A munkát a TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 projektje támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., 2007: Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change* 57 (2007) 83–95, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.002.
- [2] BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., 2010: Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20th century and climate simulations for 2050 and 2100. *Physics and Chemistry of the Earth* 35 (2010) 43–51
- [3] IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- [4] LAKATOS M., SZÉPSZÓ G., BIHARI Z., KRÜZSELYI I., SZABÓ P., BARTHOLY J., PONGRÁCZ R., PIECZKA I., TORMA CS., 2012: Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: közelmúlt és jövő. Országos Meteorológiai Szolgálat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest
- [5] www.kvvm.hu/olm
- [6] www.ncdc.noaa.gov
- [7] www.met.hu
- [8] GÁCSER V., MOLNÁR Á.: A higroszkópos növekedés hatása az aeroszol extinkcióra. *Repüléstudományi Közlemények Különszám XXIV. Évfolyam 2012. Április 15.*
- [9] 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.
- [10] MALM, W.C., KREIDENWEIS, S.M.: The effects of models of aerosol hygroscopicity on the apportionment of extinction. *Atmospheric Environment*, 1997/31, 1965-1976.
- [11] 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
- [12] 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

Palik Mátyás¹ – Csermely Ildikó²

A REPÜLŐ SZEMÉLYZETRE HATÓ ZAJTERHELÉS MÉRÉSE, KIÉRTÉKELÉSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA³

A pilótafülke zajterhelésével foglalkozó tanulmányok megállapították, hogy a pilótafülke zajterhelésének spektruma csekély mértékben változik a légi jármű típusoktól függően. 100–300 Hz körül a zaj csökken a frekvencia növekedésével. A hang intenzitása 70–100 dB (A) között változhat. A pilótafülke zajterhelése általában a sugárhajtóművel rendelkező légi járművekben a legalacsonyabb. A legzajosabb pilótafülkéi a nyitott, mezőgazdaságban használt, valamint az utánégetővel rendelkező katonai sugárhajtóműves légi járműveknek vannak. Amennyiben a pilótafülke zajterhelése 88 dB (A) felett van a személyzetnek a kommunikáció fenntartása érdekében komoly „erőfeszítéseket” kell tennie.

MEASURING THE EFFECTS OF NOISE POLLUTION ON CREWMEMBERS, COMPARING ASSESMENT METHODS

The primary energy in those noises lies in the low frequencies, ranging mostly from 100 to 300 Hz, with a rapid decrease as frequency increases. The overall sound intensity varies from about 70 dB(A) to more than 100 dB (A). Generally, the quietest cockpits are found in jet aircraft; the noisiest are found in open cockpit airplanes such as those used for aerial application in agriculture and in some military jets that use afterburners. When the noise level in the cockpit, exceeds 88 dB(A) the crewmembers efforts should be made to aid communication.

A zaj által okozott hallásvesztési panaszok az Európai Unióban a 10 leggyakrabban előforduló foglalkozási betegség közé tartoznak [3]. A zaj okozta nagyothallás (halláscsökkenés) vagy siketség a foglalkozási betegségek európai listáján található betegségek részét képezi.

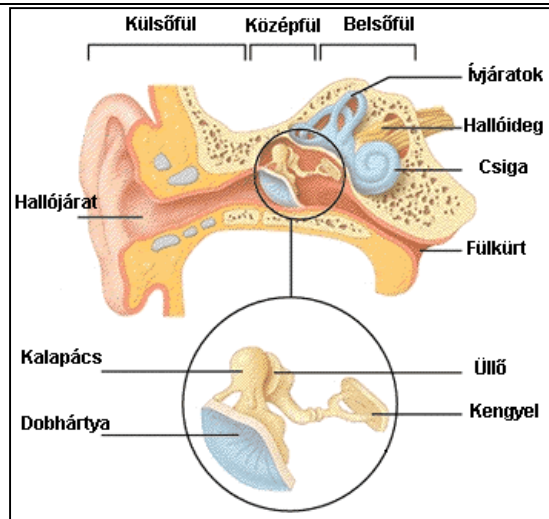
A zaj okozta halláskárosodást általában az idézi elő, hogy a munkavállaló hosszú időt tölt el zajos munkakörnyezetben. Az első tünet rendszerint az, hogy a beteg nem hallja a magas hangokat. Ha nem küszöbölik ki a túlzott zajt, a hallás tovább romlik, és a probléma kiterjed az alacsonyabb hangfekvésű hangokra is. A zaj okozta halláskárosodás végleges, mely általában mindkét fület érinti, mely bekövetkezhet akkor is, ha a zajjal járó expozíció nem hosszú távú. A hirtelen keletkezett erős zajjal (akár egyszeri erős zajjal) járó rövid idejű expozíció – például fegyverekből leadott lövés, vagy szög- és szegecsbelövő pisztolyok esetén – szintén maradandó hatást, így halláskárosodást és folyamatos fülzúgást okozhat. A hirtelen keletkezett erős zajok a dobhártyát is beszakíthatják, mely ugyan fájdalmas sérülés, de idővel begyógyul.

Hallószervünk, a fül három fő részre, – külsőfülre, – középfülre és – belfülre osztható (1. ábra). A külsőfül a többszörösen görbült, porcból és az azt borító bőrből álló fülkagylóból, valamint a körülbelül 2,5 cm hosszú és 8 mm átmérőjű csőszerű hallójáratból áll. A méretei miatt a rezonanciafrekvenciája 3000 Hz körüli, vagyis ezen a frekvencián legnagyobb az érzékenysége. A hallójáratot a dobhártya zárja le, amely egyben a külsőfül és a középfül elválasztó vonala is.

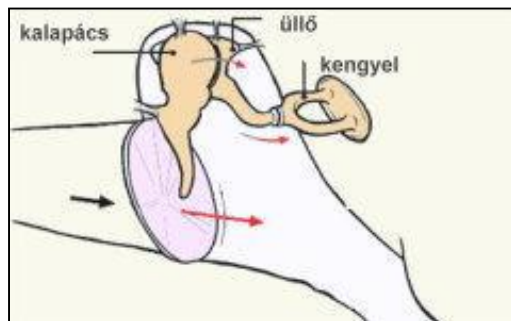
¹ PhD, alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

² Vizsgálómérnök, zaj- és rezgéscsökkentési szakértő, Richter Gedeon Nyrt., csermely.ildiko@gmail.com

³ Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu



1. ábra A fül felépítése⁴



2. ábra Középfül felépítése⁵

A középfület, a három hallócsontot: a kalapácsot, a kengyelt és az üllőt tartalmazó dobüreg és a fülkürt alkotja (2. ábra). A kalapács ízülettel kapcsolódik a dobhártyához, nyelén keresztül az üllőhöz és az ovális ablakhoz, talpán keresztül rögzülő kengyelhez. Az így kialakult hallócsontlánc feladata a dobhártya rezgéseinek az ovális ablakhoz való továbbítása. Ezen folyamat elengedhetetlen feltétele, a dobüregben lévő nyomás külsővel való kiegyenlítése, amelyet az Eustach-kürt lát el. Ha a középfület és a garatot összekötő hallókürt nem működik megfelelően, akkor a dobüregben lassan vákuum keletkezik, ami a dobhártya behúzódsát eredményezi

A halántékesont piramisában helyezkedik el a belsőfület alkotó folyadékkal töltött csontos labirintus, amely az előcsarnokból, a csontos csigából (cochlea) és az egyensúlyozáshoz szükséges három félkörös ívjáratból áll. A csontos csigán belül még található, egy a folyadékréteget kettéosztó hártvás csiga is, amelynek az alsó részét alaphártyának, a felsőt pedig Reissner-hártyának nevezünk. A hallás érzékszerve, az alaphártyának szőrrel és fedőlemezzel borított része Corti-szerv. Ez végzi a mechanikus rezgés ingerületté való átalakítását.

A hallás folyamata

A hangforrás által keltett rezgéseket a fülkagyló összegyűjti, szűri és a dobhártyára reflektálja. A szűrés, a hallójáratnál együtt alkotott negyedhullámú rezonátorral történik. A hanghullámok által

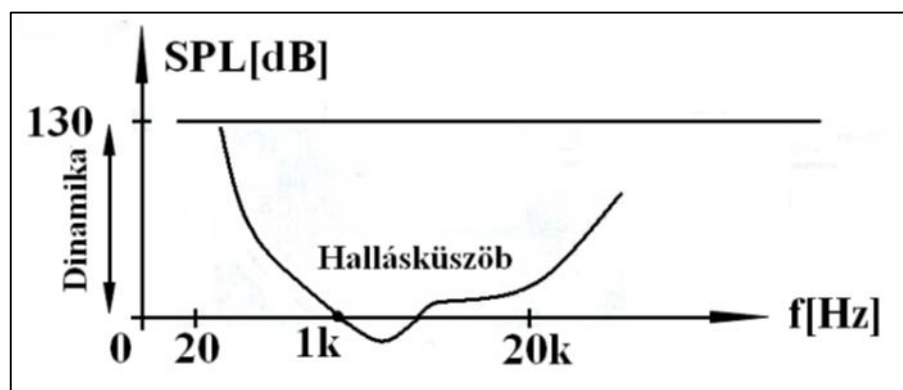
⁴ Forrás: <http://www.fulspecialista.hu/index.php?page=content&method=static&id=58>

⁵ Forrás: <http://www.fulspecialista.hu/index.php?page=content&method=static&id=58>

keltett dobhártyarezgések, a hallócsontokon át eljut a csigáig. A rezgés ezután a csigában lévő folyadék felső részén végighalad, majd annak végére érve megfordul, és az alsó felén visszajön egészen az ovális ablakig. Ennek hatására az alapszövet és a Corti-szerv is rezgésbe jön.

Az emberi hallás jellemzői

Az emberi hallás egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy csak egy bizonyos frekvenciatartományon belül elhelyezkedő hanghullámok érzékelésére képes. A hallás frekvenciafüggősége miatt, a különböző frekvenciájú hangokat más-más hangnyomásszint felett vagyunk képesek érzékelni, vagyis minden egyes frekvenciához egy hallásküszöb érték is tartozik. A hallásküszöb nem más, mint az a legkisebb hangnyomásszint, amelyen az adott hang hangérzetet kelt. Az emberi fül hallásküszöbje (3. ábra) a 2–4kHz tartományban, a beszéd frekvenciatartományában a legalacsonyabb, majd innen a magasabb és mélyebb hangok felé haladva folyamatosan növekszik.



3. ábra Az emberi fül hallásküszöbe⁶

Az emberek hallástartománya általában 20 Hz-től 20k Hz-ig terjed, amely erősen kor és egyénfüggő. Az idősebb embereknél a hallástartomány felső 20 kHz-es határa, akár 12–14 kHz-re is lecsökkenhet. Az emberi szervezet képes a 20 Hz alatti hangok érzékelésére is, csak ezeket a hangokat már nem a fülünk, hanem a csontvázunk segítségével végezzük. Ezt nevezzük csonthallásnak.

A hallásunk egy másik nagyon fontos paramétere a fájdalomküszöb. Ez gyakorlatilag az adott frekvenciájú hangnak azt a hangnyomásszintjét jelenti, amely már fájdalmat okoz az emberi szervezet számára, sőt a dobhártya beszakadásával is járhat. Ez az érték 130 dB hangnyomás környékén van. A fájdalomküszöb dB-ben megadott értéke, gyakorlatilag az emberi fül dinamikájával egyenlő, ami 130 dB.

Mivel a fülünk érzékenysége a hallástartomány minden egyes frekvenciáján más, ezért a különböző frekvenciájú hangok, ugyanolyan erősségű hangérzetet, más-más hangnyomásszinten keltenek. Ezért a szubjektív hangosságérzet számszerűsítésének érdekében bevezették a hangerő fogalmát. Mértékegysége a phon. Ez alapján egy hang hangerőssége annyi phon, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje. Ha ábrázoljuk és összehasonlítjuk az azonos hangerősségű élményt nyújtó hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében, akkor az úgynevezett Fletcher-Munson görbéket kapjuk meg. Az így kapott görbék közül, a 0 phon-os megegyezik az ember hallásküszöbjével. A phon-ban lévő értékek hátránya, hogy nem

⁶ Forrás: MAGYAR VIKTOR: Környezeti és munkahelyi zajvizsgálatok szabványos mérése és kiértékelése, Szakdolgozat, Széchenyi István Egyetem, 2010



fejezik ki számszerűen, és lineárisan hangosságérzetünk változását, valamint egymással algebrailag nem összegezhetőek. Azért, hogy ez elvégezhető lehessen, szükség volt egy újabb mennyiség, a hangosság bevezetésére, amelynek jele L_p , mértékegysége sone.

ZAJEXPOZÍCIÓ MEGHATÁROZÁSÁNAK HAZAI SZABÁLYOZÁSA

A munkavállalók fizikai tényezők (zaj) hatásának való expozíciójára vonatkozó egészségügyi és biztonsági minimumkövetelményekről szóló, az Európai Parlament és a Tanács által 2003. február 6-án elfogadott 2003/10/EK irányelv a 86/188/EGK tanácsi irányelv végrehajtásának 10 éven át tartó elemzése alapján tett megfontolások eredménye.

Az új, 2003/10/EK irányelv meghatározza a zajexpozícióból vagy vélhetően a zajexpozícióból keletkező, a munkavállalók egészségét és biztonságát – különösen a hallást – veszélyeztető kockázatokkal szembeni védelemre vonatkozó minimumkövetelményeket.

Az Európai Unió irányelv hazai jogrendbe történő átültetése a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről szóló 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet hatályba léptetésével történt meg.

A rendelet határértékeit a szervezett munkavégzés keretében végzett minden, olyan tevékenységre alkalmazni kell, amikor a munkavégzés során a munkavállalók zajból származó kockázatnak ténylegesen vagy vélhetően ki vannak téve.

A napi zajexpozíció szintjére és a legnagyobb hangnyomásszintre vonatkozó zajexpozíciós határértékek, illetve a zajexpozíciós beavatkozási határértékek a következők:

Zajexpozíciós határérték: $L_{EX,8h} = 87 \text{ dB(A)}$, illetve
 $p_{csúcs} [L_{max}] = 200 \text{ Pa}$ [**140 dB(C)**]

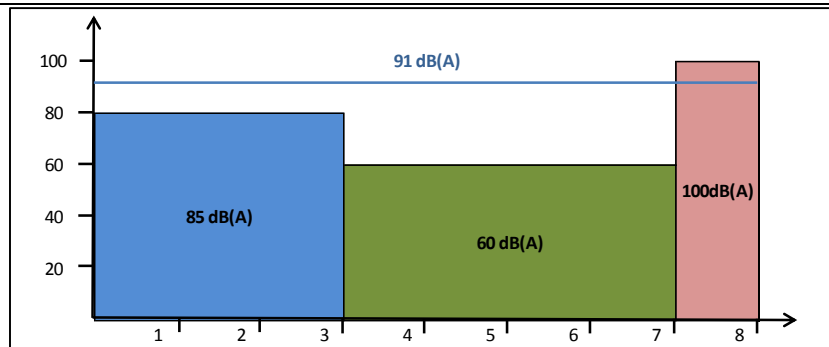
Felső beavatkozási határérték: $L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$, illetve
 $p_{csúcs} [L_{max}] = 140 \text{ Pa}$ [**137 dB(C)**]

Alsó beavatkozási határérték: $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$, illetve
 $p_{csúcs} [L_{max}] = 112 \text{ Pa}$ [**135 dB(C)**]

A nem állandó zaj egyenértékű folyamatos A-hangnyomásszintje annak az állandó zajnak az A-hangnyomásszintje, amely ugyanolyan hatással van az egyénre, mint az a zaj, amelyre vonatkozóan kiszámítjuk az egyenértékű folyamatos A-hangnyomásszintet.

A frekvenciának és a szintnek megfelelő hangészlelésben meglévő különbségek azt jelentik, hogy a hallásvesztési kockázat felméréséhez súlyozott hangnyomásszinteket használnak.

A dB(A)-ban kifejezett, A-szűrővel súlyozott hangnyomásszint felel meg legjobban az alacsony hangnyomásszintű hangok egyéni észlelésének (4. ábra).



4. ábra zajexpozíció számítása⁷

Az A-szűrővel súlyozott görbe az alacsony frekvenciájú hangok esetében nagymértékű hangnyomásszint korrekciót mutat. A dB-ben (frekvenciakorrekció nélkül) és dB(A)-ban kifejezett hangnyomásszintek ezért az erős, alacsony frekvenciájú összetevők esetében erősen szóródnak.

A dB(C)-ben kifejezett, C-szűrővel súlyozott hangnyomásszint felel meg legjobban a magas hangnyomásszintű hangok egyéni észlelésének.

Egyszerűen fogalmazva, a súlyozás a hangnyomásszintek kiigazítását, illetve korrekcióját jelenti, melyet valamennyi frekvenciára alkalmaznak

A munkahelyi zajmérés során a mérési pontot általában a munkavállaló fülétől 50 cm-en belül kell kijelölni. Ha ez nem lehetséges, akkor a mérési pontot a munkavállaló szokásos tartózkodási helyén, álló munkavégzés esetén 1,5 m, ülő munkavégzés esetén 1,25 m magasságban kell kijelölni. A méréseket a munkavállalók szokásos tevékenysége közben, illetve a zajforrások üzemszerű működése mellett kell elvégezni. Nem kell számításba venni az olyan zajokat, amelyek nem a munkafolyamathoz kapcsolódnak, és kiküszöbölhetőek (pl. kiabálás, rádió-, magnetofon-működtetés stb.).

A munkavállalókat érő zajexpozíció meghatározását követően az egyéni hallásvédő eszközt úgy kell kiválasztani, hogy az megszüntesse, vagy a lehető legkisebb mértékűre csökkentse a halláskárosodás kockázatát. A munkafolyamatnak megfelelő csillapítású védőeszköz kiválasztásánál az MSZ EN 458:2005 szabvány módszerei irányadók.

A 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet előírásai szerint az alkalmazott egyéni hallásvédő eszköz megfelelőségének ellenőrzésére az ún. SNR módszert kell alkalmazni: az egyéni hallásvédő eszköz használata mellett a munkavállalót érő zajexpozíció meghatározásához vizsgálni kell a munkahelyen fellépő egyenértékű C-hangnyomásszintet, valamint figyelembe kell venni a biztosított védőeszköz gyári katalógus alapján meghatározott korigált csillapítását (SNR).

Az egyéni hallásvédő eszközök megfelelőségének részletesebb elemzését, valamint a védőeszközök kiválasztását az MSZ EN 458:2005 szabvány A.2 melléklete szerint, a munkavállalók részére biztosított egyéni védőeszközök MSZ EN 352:2003 szabványsorozat szerinti (gyári katalógus alapján meghatározott) korigált csillapításának és a zajexpozíció frekvenciasávok elemzésével célszerű végezni.

⁷ Forrás: Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013



NEMZETKÖZI AJÁNLÁS A PILÓTAFÜLKE ZAJTERHELÉSÉNEK VIZSGÁLATÁRA

A pilótákat érő zajterhelés nem új keletű probléma. Már az első világháború utáni kereskedelmi repülést végrehajtó pilóták is állandó zajexpozíciónak voltak ki téve. Ezeknek a repülőgépeknek a pilóta fülke zajszintje elérte akár a 120 dB-t. A II. világháború alatt 1944-ben az első, harci körülmények között is alkalmazható sugárhajtású vadászrepülőgépek – a német Messerschmitt Me 262 – megjelenésével a pilótafülke zajszintje szemmel láthatóan csökkenni kezdet. A repülőgépek tervezésének fejlődésével a hajtóművek fokozatosan a géptörzsének hátsó részén kerültek elhelyezésre, melynek köszönhetően a pilóta fülke további zajszintjének csökkenését és a beszédérthetőség javulását érték el a tervezők.

Zaj megléte esetén jellemzően bekövetkező jelenség, hogy az annál gyengébb hangok nem hallhatók. Ezt a jelenséget a hang elfedésének hívják. A hangelfedése a légijármű fedélzetén, a pilótafülkében azért nagyon veszélyes, mert a légijármű személyzet és a földi irányítás közötti kommunikáció szóbeli utasításokkal történik. A kismértékű beszédérthetőség a szóbeli utasítások félreértését eredményezheti, amely akár komolyabb katasztrófához is vezethet.

Az amerikai Nemzeti Közlekedésbiztonsági Testület, az NTSB⁸ egy vizsgálata során mutatott rá a beszédérthetőség fontosságára, amelynek következtében az Amerikai Légügyi Hatóság (a továbbiakban: FAA⁹) „*Cockpit noise and speech interference between crewmembers*” című 20–133 ajánlásában tesz javaslatot a pilótákat érő zajexpozíció mérési módszerére és értékeire.

A pilótafülke zajterhelésével foglalkozó tanulmányok megállapították, hogy a pilótafülke zajterhelésének spektruma csekély mértékben változik a légijármű típusoktól függően. 100–300 Hz körül a zaj csökken a frekvencia növekedésével. A hang intenzitása 70–100 dB (A) között változhat. A pilótafülke zajterhelése általában a sugárhajtóművel rendelkező légijárművekben a legalacsonyabb. A legzajosabb pilótafülkék a nyitott, mezőgazdaságban használt, valamint utánégetővel nem rendelkező katonai sugárhajtóműves légijárművekben találhatóak. Az állásfoglalása szerint amennyiben a pilótafülke zajterhelése 88 dB (A) felett van repülőszemélyzetnek kommunikációban „erőfeszítéseket” kell tennie.

A pilótafülke zajterhelésének meghatározására az „A” súlyozó szűrő használatát javasolja az FAA. A mérést a pilóta fejmagasságában a mérendő fültől az ajánlás szerint 1 feet-re, de a gyakorlatban 6 inch távolságra kell végrehajtani és „körbe kell mérni” a fül környezetét.

A mérési idő intervallumának megválasztására 20 másodpercet javasolnak, amíg a légijármű stabilizálja a repülését. A mérést szükséges megismételni még egyszer vagy kétszer, hogy átlagos eredményeket tudjunk kapni és a mérési bizonytalanságokat kitudjuk küszöbölni. A méréseket felszállás, utazás, megközelítés és leszállás fázisaiban is végre kellene hajtani. A légnyomás változás 0,25 dB (A) különbséget okoz a földön és a repülés közben végrehajtott zajmérés eredményeiben.

Az FAA hozzájárulása szükséges az alábbi változtatások bevezetése esetén:

⁸ National Transportation Safety Board

⁹ Federal Aviation Administration

1) Pilótafülke zajterhelését kívánjuk csökkenteni:

- ajtó tömítés használata;
- hangelnyelő szigetelés alkalmazása;

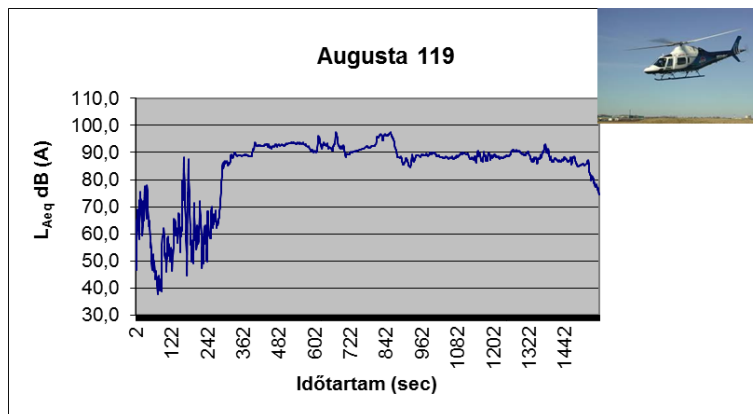
2) Jel- zaj arány módosítása esetén

3) Megfelelő hallásvédő használatához

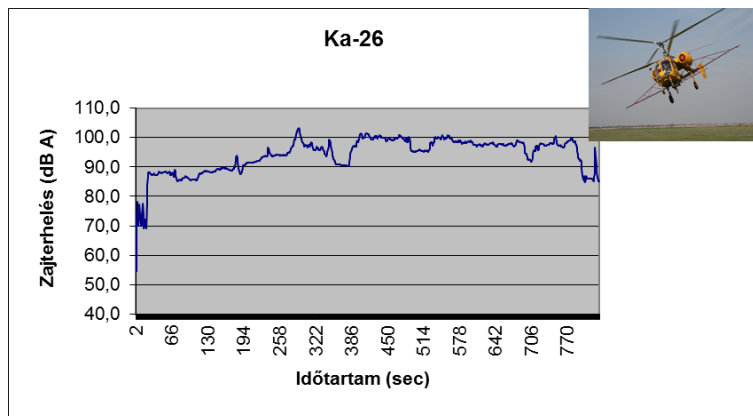
Vizsgálati eredmények

Az alábbiakban a pilótákat érő L_{Aeq} (dB) egyenértékű zajterhelést kívánom bemutatni a mérési időre vonatkoztatva részben követve a hazai szabályozás előírásait (5–9. ábrák).

Helikopterek kabinzajterhelésének alakulása



5. ábra Augusta 119 kabinjában mért zajterhelés¹⁰

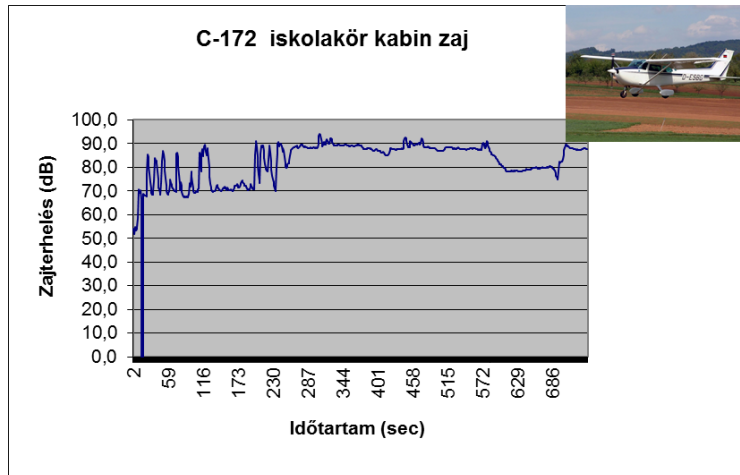


6. ábra Ka-26 kabinjában mért zajterhelés¹¹

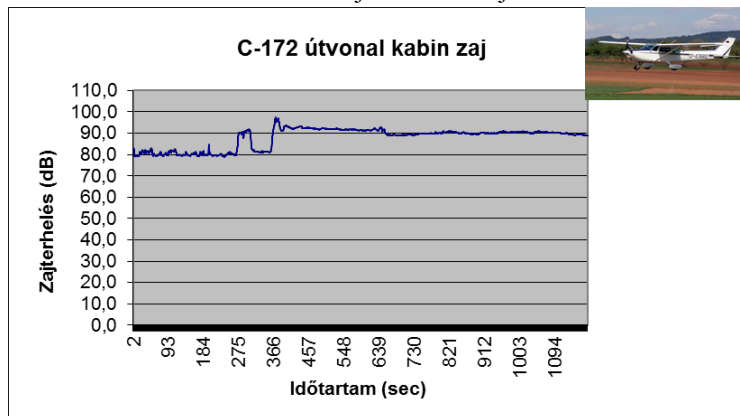
¹⁰ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

¹¹ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

Légcsavaros légijárművek kabinzajterhelésének alakulása



7. ábra C-172 kabinjában mért zajterhelés ¹²



8. ábra C-172 kabinjában mért zajterhelés ¹³



9. ábra Commander kabinjában mért zajterhelés ¹⁴

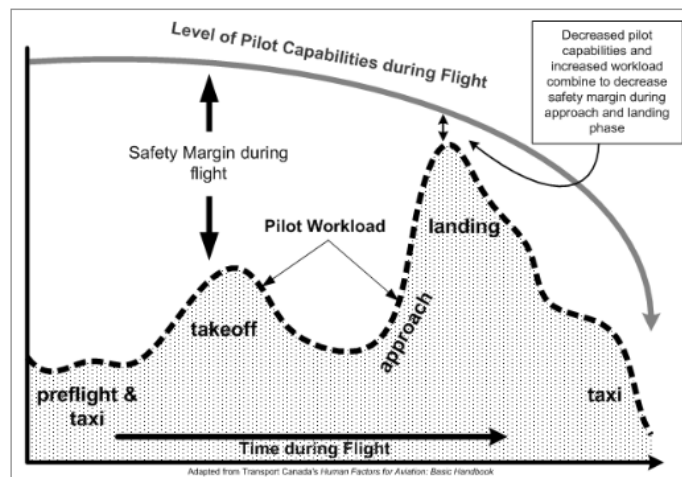
A következő ábrán látható a pilóták repülés ideje alatti terhelése (10. ábra). Ennek alapján megállapítható, hogy a legnagyobb „terhelést” a pilótákat a leszállás művelete alatt keletkezik, ezért nagyon fontos, hogy a zavaró tényezőket - mint a zaj – minimálisra csökkentsük megfelelő műszaki megoldásokkal a repülésbiztonság érdekében.

¹² Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

¹³ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

¹⁴ Saját mérések alapján szerkesztve CSI, 2013

A repülés biztonság érdekében kiemelten fontos továbbá, hogy a pilóták minden zavaró körülmény ellenére is jól és pontosan hallják a légiforgalmi szolgálatok, a környezetükben lévő más légi járművek, illetve a fedélzeten tartózkodók közleményeit. Ezért is olyan fontos, hogy megfelelő legyen a beszédérthetőség és a pilótafülke zajszintje, ahogyan ezt az FAA ajánlása is alátámasztja. A British Airways adatai szerint a pilótafülke zajterhelése 77–89 dB (A) között alakul a repülési műveletektől függően, míg a repülések 40%-ban 85 dB (A) vagy magasabb zajterhelés is éri a repülőszemélyzetet.



10. ábra Pilóták terhelhetősége¹⁵

Összefoglalva megállapítható, hogy a repülőszemélyzetet érő igen magas zajterhelés nem küszöbölhető ki teljes egészében, viszont egyéni védőeszközök alkalmazásával a krónikus zajártalom hallórendszeri károsodást okozó hatásai elkerülhetők. Mindezeket túl szükséges lenne egy olyan hazai szabályozás kidolgozására, amely figyelembe veszi a nemzetközi ajánlásokat és a gyakorlati mérési tapasztalatok eredményeit, és melynek segítségével a légiközlekedésben érintett munkáltatók és munkavállalók átfogó képet kaphatnak – adott esetben – az egészséget ténylegesen is veszélyeztető fizikai tényezőről, a zajterhelésről.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 1993 évi. XCIII. törvény, A munkavédelemről
- [2] 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet, A munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről szóló
- [3] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2003/10/EK IRÁNYELVE, a munkavállalók fizikai tényezők (zaj) hatásának való expozíciójára vonatkozó egészségügyi és biztonsági minimumkövetelményeiről
- [4] COLIN KESTELL: The Active Noise Control of a Light Aircraft Cabin Interior, A work in progress.
- [5] FAA: 20-133ADVISORY CIRCULAR, Cockpit noise and speech interference between crewmembers, http://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac20-133.pdf
- [6] <http://www.fonor.hu/meres/munkahelyi-zajvizsgalat>
- [7] MAGYAR VIKTOR: Környezeti és munkahelyi zajvizsgálatok szabványos mérése és kiértékelése, Szakdolgozat, Széchenyi István Egyetem, 2010, <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/MVIK.pdf>
- [8] MISS S. JAMES: Defining the Cockpit Noise Hazard, Aircrew Hearing Damage Risk and the Benefits Active Noise Reduction Headsets Can Provide
- [9] NAGY ZSUZSANNA: Zajvizsgálat a Magyar Honvédség repülőterein, Hadmérnök, VI. évfolyam 1. szám - 2011. március

¹⁵ <http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:stress-in-aviation>

Kavas László¹ – Békési László² – Rozovicsné Fehér Krisztina³

A HAJTÓMŰ ALKATRÉSZ ALAPANYAGOK JELENE ÉS JÖVŐJE⁴

A repülőgépek sárkányszerkezetének fejlődését az utóbbi időben egy új szerkezeti anyag tette lehetővé, amelyet kompozit néven ismert meg a világ. A hagyományos acél, illetve „dural” építési anyagoktól kedvezőbb szilárdsági és sűrűségi jellemzői biztosították a korszerű repülőgép szerkezeti elemek gyárthatóságát. De mi a helyzet a sugárhajtóművek területén? A cikkben bemutatásra kerülnek a nemzetközi anyagtechnológiai fejlesztések azon eredményei, amelyek révén, - kompozit anyagok felhasználásával- a hajtómű-gyártásban is előrelépés következhet be.

THE PRESENT AND FUTURE OF THE STOCKS OF THE ENGINES' COMPONENTS

A new structural material, which is known composite around the world, has made it possible the development of aircraft airframes. Its strength and density features, which are more favourable than the traditional steel or „dural” building materials, guarantee the manufacturability of the structural parts of the modern aircraft. However, what is up on the speciality of the jet engines? In this article thereon results of developments of the international materials technology are shown in, which through may follow improvement in the engine manufacturing with the composite materials application.

ANYAGTECHNOLÓGIA

A hajtóműgyártásnál elengedhetetlen követelmények a pontosság és a megbízhatóság, ebből következően az alkatrészek szerkezeti anyagaiban a nagy szilárdsági értéket és a kiváló mechanikai tulajdonságokat kedvező technológiai jellemzőkkel kell ötvözni. Amikor a repülőeszközök hajtóműveit vesszük vizsgálat alá, kiindulási pontként fogadhatjuk el, hogy a hajtóművek készítésében felhasznált anyagoknak illetve a hajtómű gyártó cégeknek meg kell felelniük a repülési hatóságok által előírt szigorú követelményeknek.

A gázturbinás hajtómű esetében az a törekvés, hogy minél nagyobb fajlagos hasznos munkát, illetve termikus hatásfokot realizáljanak a szerkezetben. A fajlagos hasznos munka növekedése potenciálisan nagyobb tolóerőt, vagy tengelyteljesítményt, vagy megfordítva azonos teljesítmény szükséglet mellett kisebb geometriai méretet és tömeget jelent. Ugyanakkor a termikus hatásfok kisebb fajlagos fogyasztást (abszolút fogyasztást), gazdaságosabb üzemeltetést tesz lehetővé.

Az 50-es évek gázturbináinak turbina előtti hőmérséklete nem haladta meg az 1000–1200 K-t. A fejlesztések első lépésként a szerkezeti anyagok korszerűsítése jöhetett szóba. Megjelentek az egy irányba rendeződött kristályszerkezetű lapátok, majd az egykristály lapátok. Mindez

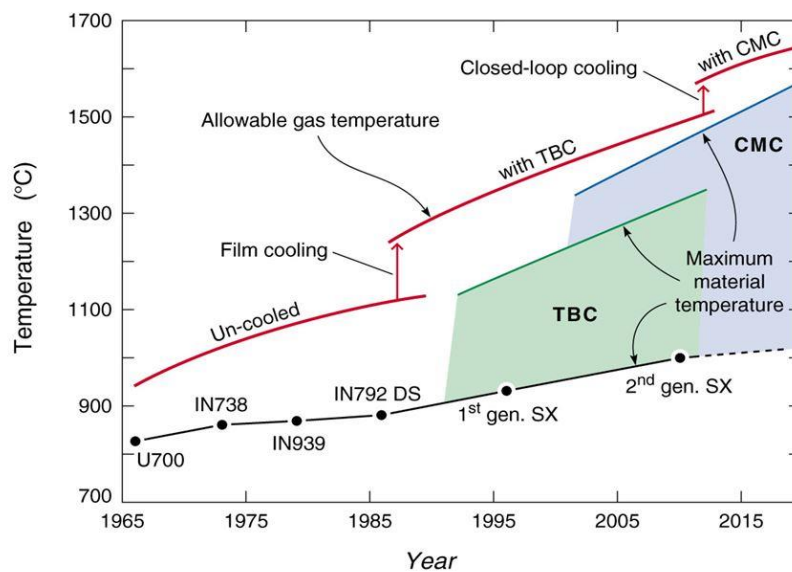
¹ alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai repülő Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu

² közalkalmazott, főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

³ közalkalmazott, mérnök tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai repülő Tanszék, rozovicsne.fehér.krisztina@uni-nke.hu

⁴ Lektorálta: Dr. Varga Béla alezredes; főiskolai docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai repülő Tanszék, varga.bela@uni-nke.hu

párhuzamos volt a turbina tárcsák és lapátok egyre kifinomultabb hűtési rendszereivel. Az egykristály lapátok tulajdonságai tovább javíthatóak hővédő bevonattal (TBC – Thermal Barrier Coating). Az eljárás lényege, hogy a felületet kb. 0,2 mm, hőszigetelő kerámia réteggel vonják be, ami 100-300 K hőmérséklet különbséget képes fenntartani a forró gáz és a lapát anyaga között. Ennek a fejlődési folyamatnak köszönhetően, napjainkban a turbina előtti maximális gázhőmérséklet 1800 K körül mozog. Az egykristály szerkezeti megoldást nem csak a turbina lapátoknál alkalmazzák, hanem a tárcsa a lapátózással egyetlen fémkristályból áll, amelyet speciális háromdimenziós forgácsolási eljárással alakítanak ki. Az így kialakított turbinák esetében a maximális turbina előtti hőmérséklet meghaladhatja a 2200 K-t (F119-es hajtómű, az F-22 Raptorba, illetve az F135-ös hajtómű az F-35 Lightning II-be építve) [1].



1. ábra A turbina előtt megengedett maximális gázhőmérséklet alakulásában tapasztalható fejlődés⁵

Hagyományos hajtómű alapanyagok

Napjainkban a hajtóműgyártás meghatározó anyagai a titán és nikkel alapú ötvözetek (szuperötvözetek) - amelyek az 1950-es évektől folyamatosan fejlődtek, és alkalmazásuk területén a csúcst a századfordulón érték el - illetve a nagyszilárdságú acélok. Ezen anyagok alkotják a hajtóművek alkatrészeinek alapanyagát.

1. Titán ötvözetek

A titán sűrűsége majdnem fele az acélénak, míg szilárdságuk megközelítően azonos. Magas üzemi hőmérsékletnél, korrozív környezetben illetve olyan területen használják, ahol a szerkezeti tömeget csökkenteni kell. Magas élettartama miatt előkelő helyet foglal el a repülőgép alkatrészgyártásban, azon belül is legfőképp kompresszor alkatrészek készülnek ötvözeteiből.

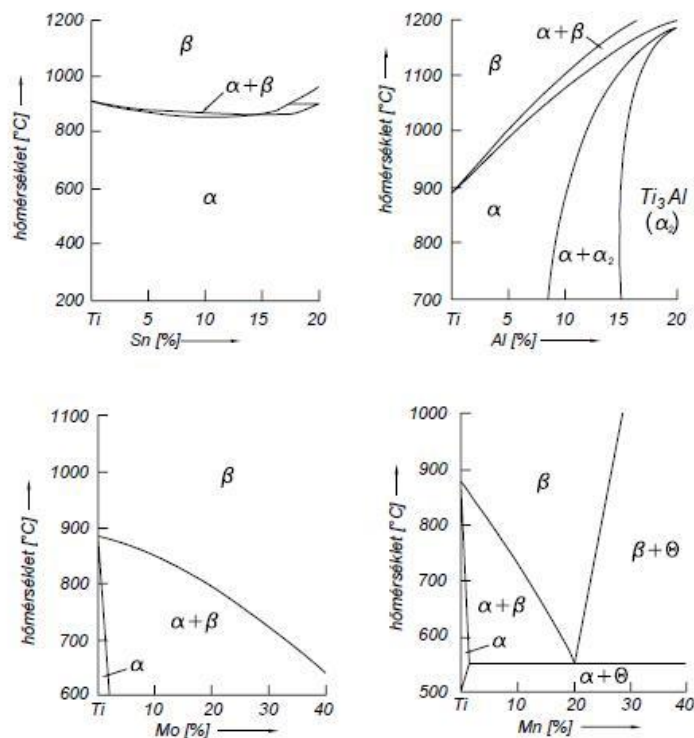
A titán ötvözőit három csoportba sorolhatjuk stabilizáló hatásuk miatt:

- α - ötvözetek, amelyek hexagonális szerkezetűek. Ebben a csoportban az ötvözők az alumínium (Al), az oxigén (O) és az ón (Sn). Ezen ötvözetek korlátozott mértékben

⁵ <http://www.virginia.edu/ms/research/wadley/high-temp.html>

alakíthatóak, viszont nagymértékben megakadályozzák az öregedést okozó elemek (oxigén, nitrogén, szén) diffúzióját.

- β - ötvözetek, amelyek térben középpontos szerkezetűek. Ebben a csoportban az ötvözők a vanádium (V), a króm (Cr), molibdén (Mo) és a vas (Fe). Ezen ötvözeteknek a szilárdságuk nagyobb, sűrűségük is magasabb, mint az α típusúaké. Hidegen jól alakíthatóak.
- $(\alpha+\beta)$ - ötvözetek, amelyek többfázisú anyagok. Ezen típusú ötvözetek szilárdsága nem éri a β - ötvözetek szilárdságát, és a sűrűségük is jóval alacsonyabb értékű. Mechanikai tulajdonságaik hőkezeléssel javíthatóak. Nagy szilárdságú korróziós igénybevételnek kitett alkatrészek gyártására használják [2].



2. ábra A titánötvözők hatása⁶

A leggyakrabban használt titánötvözet a 6% alumíniumot és 4% vanádiumot tartalmazó Ti6Al4V vagy más néven Ti64, amely az $(\alpha+\beta)$ - ötvözetek csoportjába tartozik. Lényegesen erősebb, mint a kereskedelmi tisztaságú titán, mindeközben ugyanazt a merevséget produkálja. Nagy szilárdsága mellett jól alakítható az alacsonyabb hőmérsékleteken. Tipikus felhasználási területeként említhető a sárkányszerkezetekben hajtóműterek borítás lemezeként, vagy nagysebességű repülőgépeknél szárny és vezérsíkok belépő él szekciójaként, illetve a hajtóművekben kompresszor alkatrészeknek és kötőelemeknek szolgál alapanyagául.

További fontos titánötvözetek a Ti6242 (Ti6Al2Sn4Zr2Mo), a Ti6246 (Ti6Al2Sn4Zr6Mo) illetve az IMI834, amely 5,8% alumíniumból, 4% ónból, 3,5% cirkóniumból, 0,7% nióbiumból, 0,5% molibdénből és 0,3% szilíciumból áll.

⁶ DR. KIRCHFELD MÁRIA: Műszaki anyagok, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2007., digitális egyetemi jegyzet

A Ti6242 és Ti6246 titánötvözeteket főként olyan területeken használják, ahol a nagy szilárdság és kis tömeg mellett szükség van a nagy korrózióállóságra is. A Ti6242 a leggyakrabban használt titánötvözet a sugárhajtóművek kompresszorának illetve utánégető szerkezetének alapanyagaként, míg a Ti6246 kompresszor tárcsák és egyéb lemez alkatrészek alapanyagaként szolgál.

Az IMI834 titánötvözet kiemelkedik a többi titánötvözet közül, mert megőrzi jó mechanikai tulajdonságait 600°C felett is. Fő felhasználási területe a hajtóművek részeként megtalálható kompresszor ház és lapát. Az előállítás bonyolult, így majdnem kétszeres ára van a Ti64-hez képest.

Anyagminőség	Szövet	R _m [N/mm ²]	R _{p0,2} [N/mm ²]	A [%]	Tulajdonságok	Felhasználás
Ti5Al2,5Sn	α	900	800	8	hidegszívós	repülőgép alkatrészek, kompresszor
Ti6Al2Sn4Zr2Mo	α	950	880	10	hőkezelhető	kompresszor lapát
Ti8Al1Mo1V		950	900	10		
Ti6Al4V	α+β	1100	1000	10	hegeszthető	hajtómű alkatrészek, tömítő egységek
Ti6Al6V2Sn		1200	1100	8		
Ti6Al2Sn4Zr6Mo	β	1300	1180	10		
Ti13V11Cr3Al	β	1350	1200	5	kovácsolható	nagyszilárdságú kötőelemek

1. táblázat Szabványos titánötvözetek DIN 17851 alapján⁷

2. Nikkel alapú szuperötvözetek

A repülőgép sugárhajtóműve környezeti levegőt szív be. Sűrítés után tüzelőanyagot kever ehhez a nagynyomású gázhoz, majd meggyújtja a keveréket. Ezen keverék az elégésével megforgatja a turbinát.

„Mint minden hőerőgépnél, a gázturbinának is annál nagyobb a hatásfoka, minél nagyobb a munkaközeg legmagasabb és legalacsonyabb hőmérséklete közti különbség. Ez azt jelenti, hogy a hatásfok növeléséhez az égéstérből a munkatermelő részbe kilépő gázkeverék hőmérsékletét a lehető legmagasabbra kell emelni. Ezt a magas hőmérsékletet kell elviselniük az égőtér hátsó szelvényeinek és a turbinalapátoknak. Ez utóbbiak ráadásul még percnként akár 11000-et meghaladó fordulatszámon forognak is.”⁸

Tehát a turbinákban található álló és forgó lapátoknak olyan anyagból kell készülniük, amelyek nagyon magas hőmérsékleten megőrzik szilárdságukat és ellenállóak a korrózióval szemben. Erre használhatóak a nikkel alapú szuperötvözetek.

„A szuperötvözetek olyan fémötvözetek, amelyeket magas hőmérsékleten (akár az olvadáspontjuk 100%-ának megfelelő hőmérsékletű környezetben) használnak. A nagy szilárdság, a kúszással és az oxidációval szemben való ellenállás az elsődleges kritérium, amit ki kell elégíteniük.

⁷ DR. KIRCHFELD MÁRIA: Műszaki anyagok, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2007., digitális egyetemi jegyzet

⁸ LENDVAI JÁNOS: Szuperötvözet egykristályok-drágakövek a gázturbinákban, Fizikai Szemle 2006/10. B3.o., wwwold.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0610/lendvai0610.html

Vas, kobalt és nikkel alapú szuperötvözetekkel lehet találkozni, ez utóbbi az, amely a repülőgép hajtóművekben a legsikeresebb alkalmazott anyag.”⁹

A nikkel alapú szuperötvözeteknek a legfontosabb ötvözői az alumínium, a titán illetve újabban a króm, a molibdén, a wolfram, a tantál, a nióbbium, a vanádium és a rénium. Ezen változatos összetevők miatt többfajta nikkel alapú szuperötvözetet hoztak létre és szolgálnak alapanyagul. Például: Hastelloy nagy korrózió állóságú fémötvözetek, Inconel ausztenites nikkel-króm alapú szuperötvözetek (IN600, IN617, IN625, IN690, IN718, INX-750), Waspaloy öregedésálló ausztenites nikkel alapú szuperötvözet, Rene ötvözetek (Rene 41, Rene 80, Rene 95, Rene N5), Haynes nikkel-kobalt alapú ötvözetek, Incoloy szuperötvözetek, MP98T nikkel-kobalt alapú ötvözet és a CMSX egykristály ötvözetek (CMSX-2, CMSX-3, CMSX-10, CMSX-486).



3. ábra RB199 sugárhajtómű turbina lapátja¹⁰

3. Nagyszilárdságú acélok

A nagyszilárdságú acélok az erősen ötvözött acélok csoportjába tartoznak. Mint a fent bemutatott ötvözeteknél, ennél a csoportnál is több fajta létezik attól függően, hogy milyen anyaggal ötvözik az acélt. Ezen alapanyagokat főként a hajtóművek turbinalapátjainak és csapágyaink anyagaként használják fel.

A korrózióálló nagyszilárdságú acélok fő ötvözői a króm illetve a nikkel. Az ebbe a csoportba tartozó acélokra, mint például 17-4PH, 17-7PH, 301-ANN, 321-ANN etc. a korrózióállóság mellett a jó alakíthatóság, a nagy szilárdság és keménység a jellemző.

A 41xx (4130, 4140) jelű nagyszilárdságú acélok jellemző ötvözői a króm, a molibdén és a mangán, amik a következő tulajdonságokkal ruházzák fel ezen acélokat: kiváló szilárdság-tömeg arány, lényegesen nehezebbek és erősebbek a hagyományos acéloknál. Hegesztésük nehézkes, ezért hegesztés előtt és után hőkezelik az anyagot.

Korszerű hajtómű alapanyagok

A korszerű hajtómű alapanyagok használata két nagy előnnyel jár: a belőlük készült hajtóműveknek kisebb a fajlagos tüzelőanyag fogyasztásuk, mert magasabb hőmérsékleten mehet végbe

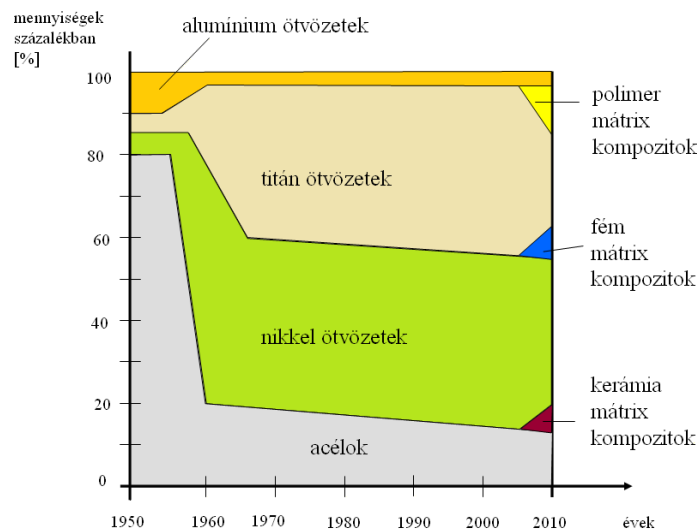
⁹ DR. RÉTI TAMÁS, DR. ZSOLDOS IBOLYA: Válogatott fejezetek az anyagtudományból, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2011., digitális egyetemi jegyzet

¹⁰ RB199 sugárhajtómű turbina lapátja, forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Turbinenschaufel_RB199.jpg

az égés az égéstérben („tökéletesebb” lesz az égés, tehát kevesebb üzemanyag szükséges) illetve szerkezetük könnyebb lesz, így olcsóbbá válik az üzemeltetés és alacsonyabb szintű lesz a károsanyag-kibocsátás.

Két fontos csoport emelhető ki a korszerű hajtómű alapanyagok közül: a szálerősítésű kompozitok, amelyek polimer, fém vagy kerámia mátrixúak és a monolitikus intermetallikus anyagok. A kompozitok magas hőmérsékleten tanúsított viselkedése nagymértékben függ az alkalmazott mátrix anyagától.

A szálerősítésű kompozitok, ahogy a 4. ábrán is látható, nem csak megjelentek a XXI. században, hanem egyre nagyobb részben használatosak alapanyagként a hajtóműgyártásban.



4. ábra Alapanyagok felhasználása a hajtóműgyártás alkatrészeiben 1950-es évektől napjainkig

4. Polimer mátrix kompozitok (PMC-Polymer Matrix Composites)

Az 1940-es évek elején felmerült az igény olyan anyag iránt a katonai repülőgépgyártásban, amelyvel nehezebben lehet a repülőgépeket radarral felderíteni, vagyis csökkent radarhullám visszaverő képességekkel rendelkezik. Innentől kezdve datálható a polimer mátrix kompozitok megjelenése a repülés területén belül. Nem csak „radarállósága” miatt lett népszerű ez az anyagcsoport a repülésben, hanem gazdasági okokból is, hiszen az alkatrészek tömegének csökkenésével az előállítási költségük szintén csökken. Termikus stabilitás javítására és szilárdságnövelésre használják, ugyanakkor korrózióálló, alaktartó, hosszú élettartamú, ellenáll az időjárás viszontagságainak.

A polimer mátrixú anyagok legalább két alkotórészből állnak. Az egyik a hordozóanyag - más néven mátrix -, a másik pedig az erősítőanyag, amelyet körülölel a hordozóanyag. Két nagy részre oszthatóak a polimer mátrixú kompozitok: hőre lágyuló és hőre keményedő fajtákra. A polimer mátrix alapanyaga lehet poliészter, epoxigyanta, vinilészter, míg az erősítőanyagoknál leggyakrabban használt alapanyagok az üveg, a szén, az aramid és a polietilén.

Az üvegszál erősítésű epoxigyanta mátrixú kompozitokat főként olyan helyeken használják, ahol nincs kitéve ez az anyag nagyon magas hőmérsékletnek, mint például a hajtómű ventilátorának burkolata, szárnyborítás, tömítések és távtartó. Ezen alkatrészek megtalálhatóak a CF6-80, CFM 56 illetve a GE 90 típusú hajtóművekben.

A jövőben a PMC alapanyagú elemek száma növekedni fog a hajtóművekben jó tulajdonságai és gazdaságossága miatt.

5. Fém mátrix kompozitok (MMC-Metal Matrix Composites)

A fém mátrix kompozitok előállításánál hordozóanyagként bármilyen fém szóba jöhet, de legelterjedtebben a könnyűfémeket, mint például a magnéziumot, az alumíniumot, a titánt használják valamint a szuperötvözeteket is, erősítőanyagként pedig fém-, bór-, szén-, grafit-szálakat illetve különböző anyagú kerámiákat helyeznek a mátrixba. Jó szívósságot és magasabb működési hőmérsékletet biztosítanak ezen kompozitok, de mégsem annyira elterjedtek, mint a polimer mátrixú kompozitok, valószínű az előállítási technológiájuk bonyolultsága és ez által drágasága miatt.

Az egyik legígéretesebb a titán mátrixú kompozit. Körülbelül 50%-os a súlycsökkenés a hagyományos titán ötvözetekhez képest mindez nagy merevség és szilárdság mellett. Ehhez a kompozithoz főként szilícium-karbid (SiC) szálakat adnak erősítésként, amelyeket karbon réteggel vonnak be, hogy elkerüljék a mátrix és az erősítőanyag reakcióba lépését a gyártás során. Kompresszor forgólapát koszorúkat (5. ábra) állítanak elő ebből az anyagból továbbá tengelyeket, valamint ventilátor lapátokat is.



5. ábra Kisnyomású kompresszor fokozat forgólapát koszorúja¹¹

Nem csak szilícium-karbid, hanem a bór szálak is megjelennek erősítőanyagként alumínium és titán mátrixú kompozitokban, attól függően, hogy mely hajtómű alkatrész készül belőle; titán-bór társításban sugárhajtómű ventilátor forgórészénél használatos, míg az alumínium-bór társítást kompresszor forgórész alapanyagaként használják.

6. Kerámia mátrix kompozitok (CMC-Ceramics Matrix Composites)

A kerámia mátrix kompozitok ígéretesnek bizonyulnak a hajtóműgyártásban az alábbi tulajdonságaik miatt: nagy merevség, magas hőmérsékleten jó szilárdság, termikus stabilitás, oxidatív környezetben korrózióval szembeni jó ellenálló képesség, alacsony sűrűség.

Eltérést mutat a fém és a polimer mátrix kompozitokhoz képest, hogy a mátrix nagyon rideg,

¹¹ BERNDT R. MÜLLER, AXEL LANGE, MICHAEL HARWARDT, MANFRED P. HENTSCHEL, BERNHARD ILLERHAUS, JÜRGEN GOEBBELS: First Refraction Enhanced 3D Computed Tomography – Application to Metal Matrix Composites, <http://www.ndt.net/article/ct2003/v02/v02.htm>

és ha külső hatás miatt repedés keletkezik, akkor az először a mátrixban jelentkeznek, nem pedig a szálakban, mint a másik két fajtájú kompozitnál.

A CMC-k erősítőanyagaként szilícium-karbid, karbon és alumínium-oxid szálakat használnak, míg a befogadó anyagnál szintén megtalálható a szilícium-karbid, alumínium-oxid illetve e két anyag keveréke. Természetesen más anyagokat is használnak mátrixként, mint például cink-oxid vagy üveg.

Kétféle szálanyag kerülhet szóba a hajtóműgyártásnál: az oxid illetve a nem oxid szálak. A nem oxid szálak fő képviselője a szilícium-karbid (SiC), amely megfelelő kúszási jellemzőkkel rendelkezik, de kémiai reakció jöhet létre a szálanyag és mátrix között, ha nincs megfelelő bevonat a szálakon. A 2. táblázat mutatja be, hogy mennyit javít bizonyos anyagok műszaki paraméterein, ha szilícium-karbid szálakkal lettek megerősítve. Az oxid szálaknál az alumínium-oxid (Al_2O_3) emelkedik ki, amely termikusan stabil, viszont kúszási mutatói nem a legmegfelelőbbek.

Anyagok	Szakítószilárdság [MPa]	Törési szívósság [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$]
Al_2O_3	550	5,5
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$	790	8,8
SiC	495	4,4
SiC/SiC	756	25,3
ZrO_2	206	5,5
ZrO_2/SiC	446	22
Si_3N_4	467	4,4
$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$	790	56,1
üveg	62	1,1
üveg/SiC	825	18,7
üvegkerámia	206	8,2
üvegkerámia/SiC	825	17,6

2. táblázat Szilícium-karbid erősítésű szálak hatása kerámia anyagok műszaki tulajdonságaira¹²

Tulajdonságai miatt a kerámia mátrix kompozitokat a hajtóműveknél inkább az alacsony nyomású részeknél használják, mint például diffúzor rész kúpja vagy terelő lapátok. A General Electric és Rolls Royce együttműködése folytán jött létre az F136 gázturbinás hajtómű, amelynek állórész lapátjainál illetve a Snecma M88 hajtóműnek a gázsebesség fokozó redőny elemeinél jelenik meg alapanyagként.

¹² KONCZOS GÉZA: Korszerű anyagok és technológiák (előadás III. éves BME mérnök-fizikus hallgatók részére, 9. fejezet Kompozit anyagok, <http://www.szfi.hu/~koczso/tanfolyam/>



6. ábra F136 hajtómű¹³



7. ábra Snecma M88 hajtómű¹⁴

7. Intermetallikus vegyületek

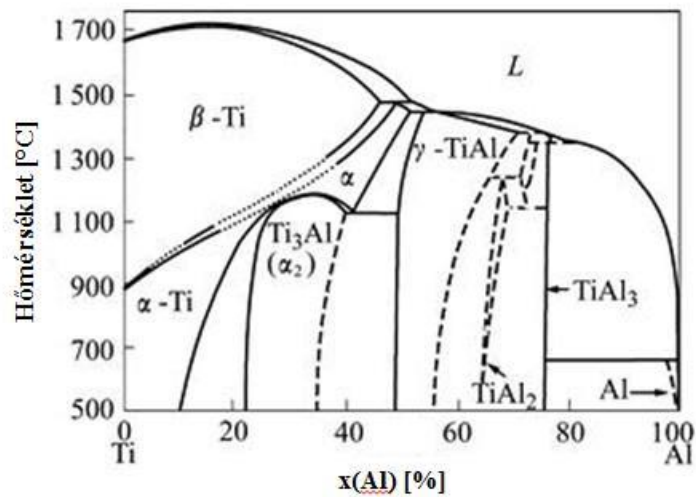
Az intermetallikus (fémközi) vegyületek általában kétkomponensű ötvözetek megszilárdulásából alakulnak ki [3]. Ezen vegyületek közül a titán és alumínium alkotta intermetallikus vegyület emelkedik ki a repülőgép alkatrész gyártás területén.

Három fő fémközi vegyülete ismert: γ -TiAl, α_2 -Ti₃Al és Ti-Al₃ (8. ábra). Általános jellemzőjük, hogy a belőlük készült alkatrészeknek kicsi a tömegük, jó az ellenálló képességük a korrózióval és a hővel szemben, viszont elég rideg anyagok, különösen alacsony hőmérsékleten. Hajlékonyságuk növelhető kémiai összetevők módosításával illetve a gyártási paraméterek optimalizálásával. Kb. 40 évvel ezelőtt kezdték ezen anyagok fejlesztését az autó- és a repülőgépgyártásban [4].

A három vegyület közül a γ -TiAl-t használják a legelterjedtebben. Kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, amelyekből kiemelkedik a magas hőmérsékleten tapasztalható korrózióállósága (600 °C felett). Nagy lehetőség mutatkozik a hajtómű tolóerő-tömeg arány javítására ezen a vegyületek mind szélesebb körű alkalmazásával. Az alacsony nyomású turbina lapátok és nagy nyomású kompresszor lapátok alapanyagaként, már kezdi átvenni a nikkeltötvözetek helyét [5].

¹³ F136 hajtómű, forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sdd_f136_006.jpg

¹⁴ Snecma M88 hajtómű, forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:M88-2_Engine.JPG



8. ábra Ti-Al fázis diagramja¹⁵

A General Electric a GEnx hajtóművében az alacsony nyomású turbina lapátok alapanyaga a γ -TiAl vegyületet, amelyeket a Boeing B 787 illetve a B 747-8-as repülőgépekben használnak.



9. ábra GEnx hajtómű a Boeing 747-8I prototípusában¹⁶

¹⁵ L. HUANG: Microstructural Control of Ti-Al-Nb-W-B Alloys, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11661-007-9113-x/fulltext.html>

¹⁶ Olivier Cleynen: GEnx hajtómű a Boeing 747-8I prototípusában, forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:General_Electric_GEnx_on_747-8I_prototype.jpg



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KOLLÁTH SZ.: Gázturbinás hajtóművek evolúciós fejlődése, szakdolg. (konz. Varga B.), p 64
- [2] DR. KIRCHFELD MÁRIA: Műszaki anyagok, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2007., digitális egyetemi jegyzet, 83. o.
- [3] KONCZOS GÉZA: Bevezetés az anyagtudományba (III. éves vegyészmérnök hallgatók részére), Fémek és ötvözetek, <http://www.szfki.hu/~konczos/tanfolyam/>
- [4] Reade - Your higher technology speciality chemicals resource, <http://www.reade.com/products/5-aluminide-compounds-feal-nial-tial-mgal-powder/776-titanium-aluminide-powder-tial-ti3al-tial3-ti-48al-2nb-2cr-ti2-alnb-titanium-aluminide-powder-titanium-aluminide-sheet-tial-ti3al-tial3-ti-48al-2nb-2cr-ti2alnb-titanium-aluminide-powder-tial-ti3al-titanium-aluminide-sheet-> (2014.02.27.)
- [5] Reade - Your higher technology speciality chemicals resource, <http://www.reade.com/products/5-aluminide-compounds-feal-nial-tial-mgal-powder/776-titanium-aluminide-powder-tial-ti3al-tial3-ti-48al-2nb-2cr-ti2-alnb-titanium-aluminide-powder-titanium-aluminide-sheet-tial-ti3al-tial3-ti-48al-2nb-2cr-ti2alnb-titanium-aluminide-powder-tial-ti3al-titanium-aluminide-sheet> (2014.02.27.)

Wantuch Ferenc¹

MÓDSZEREK A LÁTÁSTÁVOLSÁG ELŐREJELZÉSÉRE²

Számos olyan fontos meteorológiai elem létezik, amelyek nem állnak elő numerikus előrejelzési modellek output-jaiként, ugyanakkor előrejelzésük fontos volna. A látástávolság megfelelő pontosságú előrejelzése a repülésmeteorológiában komoly feladat elé állítja az előrejelző szakembert, hiszen a nemzetközi előírások (ICAO), szigorúan szabályozzák ezt a területet. Mind a mai napig nem létezik olyan, a hazai gyakorlatban alkalmazható eljárás, amely igazán hathatósan segítené az előrejelzők munkáját. E cikkben összefoglaló jelleggel röviden szeretnénk ismertetni olyan magyar és nemzetközi kutatási eredményeket, elsősorban statisztikai módszereket amelyek bevezetése hathatósan segítené a látástávolság előrejelzését a repülőtereken.

APPLIED METHOD FOR VISIBILITY FORECAST

There are a plenty weather elements which are important, but not produced directly by the NWP model. Such as the visibility forecast at the airport. Suitable accuracy of the visibility prediction in aviation meteorology is the prominent and the ICAO regulators are very rigorous. Present days there is no enough good visibility forecast method in Hungary. This paper is an overall review of different visibility forecast method in the world with examples. By the help of this review there is a chance to organize a new visibility forecast system at the Hungarian military airports.

BEVEZETÉS

E cikkben először meghatározzuk a különböző látástávolság előrejelzésre vonatkozó módszer-családokat, röviden megismertetjük az olvasóval a módszerek konstruálásának elméleti hátterét, a módszerek előnyeit és hátrányait. Számos példát mutatunk be a lehetséges alkalmazásokra. Fontos feladat lenne az ismertetésre kerülő eljárások gyakorlatban való tesztelése és annak meghatározása, hogy különböző időtávú látástávolság előrejelzésekben melyik algoritmust érdemes alkalmazni. Néhány olyan módszer kapcsán, amelyek várhatóan az elkövetkező évtizedekben széles körben alkalmazásra kerülnek a többiekhez képest részletesebb ismertetésre kerülnek. A tárgyalandó módszerek elvi megközelítésben természetesen alkalmazhatók a látástávolságon kívül más elemre is, hiszen több olyan légköri jelenség létezik (pl. alacsony felhőzet, jegesedés, talajmenti hőmérséklet, turbulencia, időjárási extrémumok) amelyeknek előrejelzése jelenleg nem lehetséges megfelelő pontossággal numerikus modellekből (NWP). A különböző módszerekre példákat azonban a látástávolság és a köd előrejelzése kapcsán fogunk mutatni. A látástávolság előrejelzésére természetesen fel lehet állítani differenciál, illetve parciális differenciálegyenleteket, elvileg ezeknek az egyenleteknek az egzakt megoldása szolgáltatná a látástávolság alakulását. Számos országban fejlesztenek jelenleg is ilyen modelleket, azonban ezek, az egydimenziós (1D) vagy háromdimenziós modellek (3D) [1] szolgáltatta eredmények még alatta maradnak a statisztikai alapú előrejelzéseknek. A statisztikai előrejelzési módszerek

¹ Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.ferenc@nkh.gov.hu

² Lektorálta: Bíró Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu



csoportosításánál a WMO módszerét követjük [2], e szerint három módszer család illetve kategória létezik, megkülönböztetünk, un. klasszikus módszert, „tökéletes prognózis módszert” (perfect prognosis PP) valamint modell output statisztikai módszert. A továbbiakban ezeket a módszereket fogjuk ismertetni.

A KLASSZIKUS MÓDSZEREK

A klasszikus módszer alkalmazásánál nem használják fel a numerikus előrejelzési modellek előrejelzéseit csak a megfigyeléseket. A megfigyelt időjárási elemekből, un. prediktorokból próbál a módszer előrejelzést szolgáltatni. A klasszikus módszeren belül általában három különböző eljárási módot lehet megkülönböztetni. Az első a meteorológiában régóta alkalmazott analógiás módszer, a második az un. fuzzy algebrai módszerek, míg a harmadik csoportba az un. konceptuális modellek tartoznak. A továbbiakban röviden térjünk ki ezeknek a módszereknek az ismertetésére.

Az analógiás módszer elméleti ismertetésénél a továbbiakban Gulyás Ottó ez irányú munkájára támaszkodunk.[3] Az analógiák alapján való becslés alapelve a következő: Megkeressük a múltbeli helyzeteket tartalmazó archívumban a jelen időszak időjárási helyzetéhez leghasonlóbbat, és a leghasonlóbbat követő időszak jellemzőit adjuk, meg mint becslést, előrejelzést. Alapfeltevése tehát az, hogy hasonló helyzeteket hasonló helyzet követ. Ez a megfogalmazás természetesen pontosítást követel. Meg kell mondanunk, hogy mi az az időjárási helyzet, mikor nevezzük azokat hasonlónak, mi az az archívum és milyen pontosságot várhatunk el az eljárás-tól? Tekintsük a $\underline{\varepsilon}=(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_N)$ vektor valószínűségi változót. Ezt a $\underline{\varepsilon}$ - prediktornak vagy megfigyelésnek nevezzük. A prediktor vektor írja az időjárási helyzetet. A $\underline{\varepsilon}$ vektor megválasztás, annak eldöntése, hogy milyen légköri elemek, milyen elrendezésben, hogyan kerüljenek a prediktorok közé elsősorban meteorológusi feladat, bár léteznek matematikai segédeszközök a kiválasztás segítésére. Természetesen $\underline{\varepsilon}$ jó megválasztása a feladat megoldásának egyik kulcsa, azonban itt ezzel nem foglalkozunk, $\underline{\varepsilon}$ -t adottnak tekintjük.

A η valószínűségi változó jelöli a prediktandust. Az analógiás, módszerhez egy archívumot használunk fel. Archívumnak a $(\underline{\varepsilon}, \eta)$ változó pár független és azonos eloszlású kísérletekkel nyert minta elemeinek a sorozatát nevezzük, amelyet

$$(\underline{x}^1, \vartheta_1), (\underline{x}^2, \vartheta_2), \dots, (\underline{x}^L, \vartheta_L), \dots, (\underline{x}^n, \vartheta_n),$$

-nel jelölünk. A mintanagyságot n mutatja. Ahhoz, hogy a realizációkat összehasonlíthassuk, be kell vezetni egy metrikát (távolságot). Az N dimenziós vektorok $\underline{x}=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ $\underline{y}=(y_1, y_2, \dots, y_N)$ terét R^N -et vizsgáljuk. Az R^N -beli vektorok párjain értelmezzük a $\rho(\underline{x}, \underline{y})$. metrikát, azaz egy olyan függvényt, amelyik a következő feltételnek tesz eleget:

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) = \rho(\underline{y}, \underline{x}) \geq 0$$

$$\rho(\underline{x}, \underline{x}) = 0$$

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho(\underline{x}, \underline{z}) + \rho(\underline{z}, \underline{y})$$

minden $\underline{x}, \underline{y}, \underline{z}$ vektorhármásra R^N -ben. E metrika, fejezi ki az R^N -beli vektorok egymáshoz viszonyított közelségét. Segítségével a $\underline{\varepsilon}$ prediktor (valószínűségi változó), különböző realizációinak távolságát is mérhetjük. Így ha $\underline{\varepsilon}$ -re re végzett kísérlet eredménye \underline{x} , a $(\underline{x}^1, \vartheta_1), (\underline{x}^2, \vartheta_2)$

..., $(\underline{x}^n, \vartheta_n)$ párok pedig egy archívumot alkotnak, akkor megkereshető a \underline{x} „legközelebbi társa”, az archívum azon $x^{i0}=\underline{x}$ eleme amelyre $\rho(\underline{x}, \underline{x}^i) \leq \rho(\underline{x}, \underline{x}^i)$, $i=1,2,\dots,n$. Ennek alapján az \underline{x} megfigyelésre vonatkozó döntés $d(\underline{x})=\vartheta_{i0}$ a legközelebbi társ archívumbeli párja.

A meteorológiában a metrika helyett az analógia fogalma a szokásos. A két látszólag különböző döntési módszer a valóságban teljesen ugyanaz. Könnyen látható, hogy lehet olyan $\rho(\underline{x}, \underline{y}) \gg \rho'(\underline{x}, \underline{y})$ transzformációt találni amelyre ρ' is metrika, vagyis megtartja az előzőekben definiált tulajdonságai és azon kívül 1-el korlátozva van.

$$0 \leq \rho'(\underline{x}, \underline{y}) \leq 1,$$

és fenn áll, hogy ha

$$\rho(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho(\underline{x}, \underline{z}) \text{ akkor } \rho'(\underline{x}, \underline{y}) \leq \rho'(\underline{x}, \underline{z})$$

minden $\underline{x}, \underline{y}, \underline{z}$ vektorhármásra. Ilyen transzformáció például

$$\rho'(\underline{x}, \underline{y}) = \rho(\underline{x}, \underline{y}) / (1 + \rho(\underline{x}, \underline{y}))$$

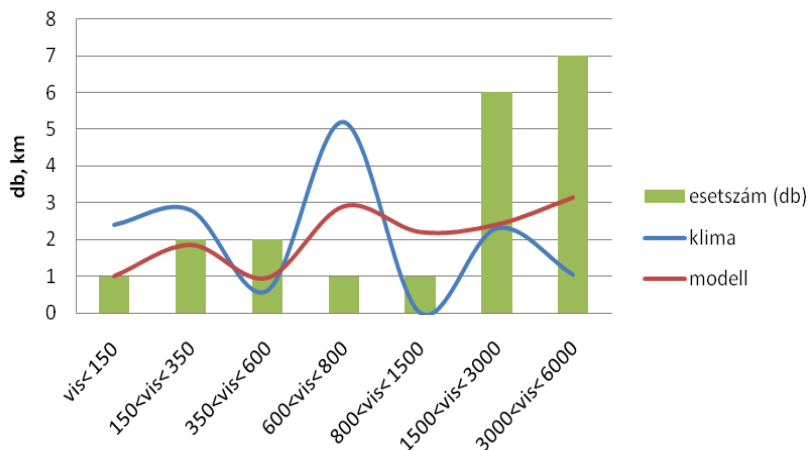
Világos ennek alapján, hogy ha \underline{x} legközelebbi társa \underline{x} akkor ugyanazon archívumból a ρ' metrika szerint is ugyanaz a \underline{x} lesz a legközelebbi társ. A $\rho'(\underline{x}, \underline{y})$ metrika alapján definiált analógia indexnek nevezzük az R^N -beli vektorpárokon értelmezett

$$\delta(\underline{x}, \underline{y}) = 1 - \rho'(\underline{x}, \underline{y})$$

függvényt. Így világos az a szóhasználat, hogy ha \underline{x} közel van \underline{y} -hoz, azaz $\rho'(\underline{x}, \underline{y})$ kicsi, akkor $\delta(\underline{x}, \underline{y})$ nagy és azt mondjuk, hogy az analógiájuk nagy.

Az analógiás módszer látástávolság célú felhasználására a közelmúltban is számos módszer került kidolgozásra [4]. Deák Bianka és szerzőtársai klíma analógiás eljárást dolgoztak ki és azt kapták, hogy a klíma adatokban is jelentős prognosztikai jellegű információ található. A szerzők analógiás módszerű klíma előrejelzéseket hasonlítottak össze, más látástávolság előrejelző módszerekkel ICAO látástávolság kategóriánként bontva 08 UTC-re vonatkozóan 2009 februárjában a Szolnokra (1. ábra).

Előrejelzések átlagos eltérése kategóriánként



1. ábra Az előrejelzések átlagos eltérése kategóriánként

Fuzzy algebra, illetve fuzzy és analóg módszerek kombinációjával kapott módszerek.

Ezekre a módszerekre számos példát lehet találni hazai és külföldi vonatkozásban [5][6][7][8][9].

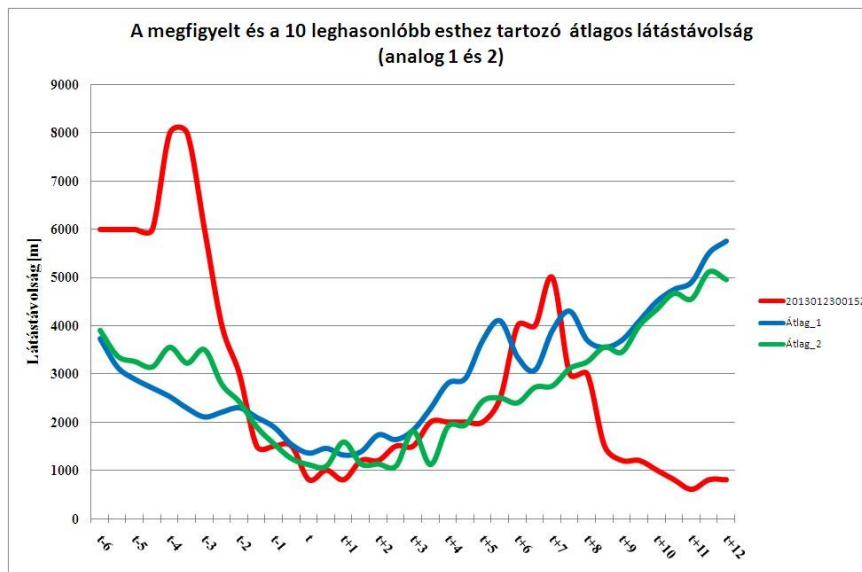
A fuzzy halmaz olyan halmaz, melynek minden elemhez egy 0 és 1 közé eső valós számot rendelünk, ahol a hozzárendelést tagsági függvénynek nevezzük. Tehát egy A fuzzy halmaz esetén ez a következőképpen írható fel:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1],$$

ahol X az univerzum és μ_A az A fuzzy halmaz tagsági függvénye.

Összehasonlítva az eddig megszokott halmazképpel, azt mondhatjuk, hogy ha egy halmaz azon elemeihez, amelyek nem részei a halmaznak 0, míg a halmazban szereplő elemekhez 1 egész számot rendelünk (legyen ez a tagsági függvény), megoldottuk halmazunk fuzzy halmazzá való leképezését.

A fuzzy halmaz tagsági függvény értékei nem valószínűségi mértéket jelölnek. Annál is inkább, mert míg valószínűségek esetén valamely az elemekhez tartozó valószínűségek összege 1, addig ez - a tagsági függvény értékeinek összegére - fuzzy halmaz esetében nem követelmény. Valószínűségek és fuzzy halmazok között a fuzzy mérték teremthet kapcsolatot [10]. Hazai vonatkozásban találhatunk fuzzy technikával készült látástávolság előrejelzési modellt [5]



2. ábra A megfigyelt és a 10 leghasonlóbb esethez tartozó átlagos látástávolság.[5]

A 2. ábrából látható, hogy a fuzzy technikával kialakított analógiás módszerek alkalmasak a látástávolság rövid távú előrejelzésére. Az előrejelzett első nyolc óras időtartamban, mindkét módszer esetén elég jól korrelál a valóban bekövetkezett látástávolságokkal, azonban 8. óra után a görbék széttartása figyelhető meg, ami valószínűleg az eltérő dinamikai folyamatoknak köszönhető. Más országok is hasonló kutatási eredményeket kaptak WMO kiadványokban általában 6 óras előrejelzési intervallum az, amire a klasszikus módszereket alkalmazzák [2]. A klasszikus módszercsaládon belül a következő még nem említett eljárás a konceptuális modellek családja.

A konceptuális modellek

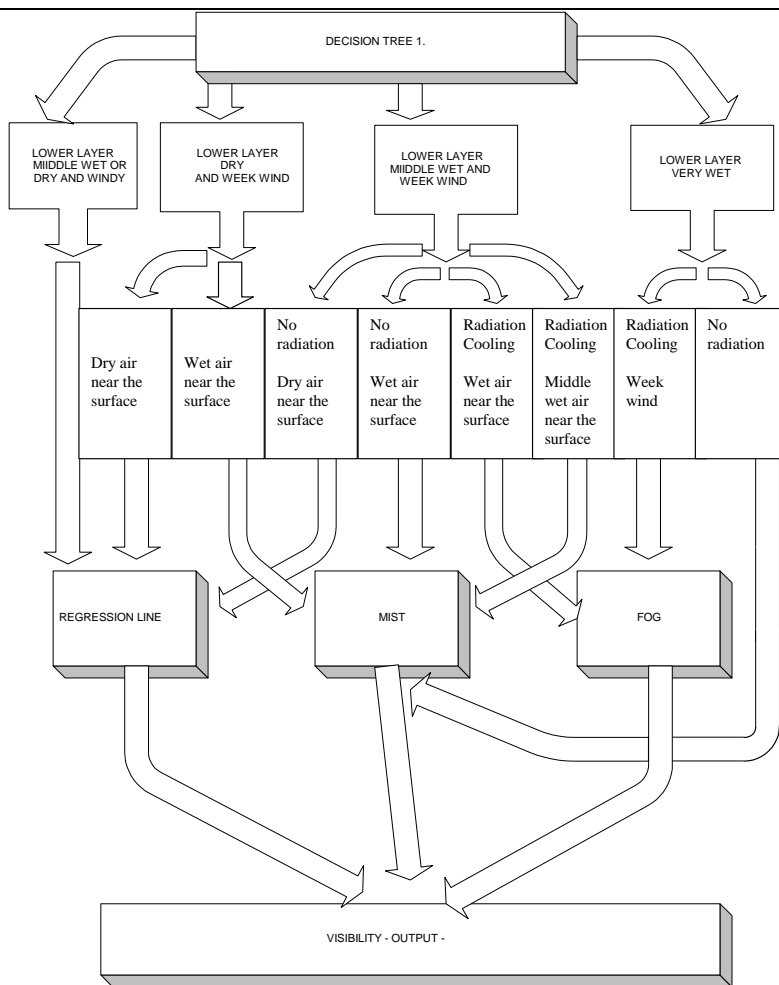
A konceptuális modellek általában leírják egy tipikus időjárás helyzetet. A helyzet leírásához a hagyományos szinoptikai leírás mellett, gyakran távérzékelési eszközök nyújtotta információkat is felhasználják [11]. Itt is felmerül a gyakorlatban az, hogy az éppen aktuális időjárás helyzet vajon milyen mértékben hasonlít a konceptuális modellben megfogalmazott időjárás helyzethez. Itt általában két választás előtt állnak a fejlesztők, vagy elkezdnek egy az analógias módszerben ismertetett távolságot definiálni vagy pedig döntési sorozatot dolgoznak ki. A döntési sorozat lépéseire adott válaszokon végighaladva végül megerősítésre vagy elvetésre kerül az hogy használhatjuk-e a konceptuális modellt esetünkben vagy sem [12].

A „TÖKÉLETES PROGNÓZIS” MÓDSZERE (PP MÓDSZER)

A tökéletes prognózis módszere (Perfect Prognosis PP) módszer alkalmazásánál már szükségünk lesz az előrejelzési modellek nyújtotta információkra. Ismételtén tekintünk a $\underline{x}=(x_1, x_2, x_3... x_N)$ vektor valószínűségi változót, ahol \underline{x} -t prediktornak vagy megfigyelésnek nevezzük most y legyen a becslendő a légköri modell által nem előrejelezhető paraméter (prediktandusz) [13]. \underline{x} a légkör azon paramétereinek együttese, amelyeket az NWP modell előre tud jelezni. A megfigyelt adatok alapján konstruálunk egy $y=f(x_1, x_2, x_3... x_N)+h$ ahol „h” a statisztikai módszer hibáját jelenti. Ha előrejelzést akarunk készíteni, akkor az egyenletbe $x_1, x_2, x_3... x_N$ helyett az NWP modell által előrejelzett értékeket kell használnunk. ez azt jelenti, hogy hallgatólágyan azt feltételezzük, hogy az előrejelzési modellünk tökéletes lesz. Innen származik a módszer elnevezése is. Nyilvánvalóan ez a gyakorlatban nincs így és a „h” statisztikai módszer hibához hozzájárul a NWP modell hibája is, ez a PP modellek hátránya. Mindenképpen a PP modellek előnye az, hogy mivel az f függvény konstruálása megfigyelési adatok alapján történt, így az semmit nem határoz meg az NWP modell irányába. Bármelyik numerikus előrejelzési modellről feltehetjük, hogy tökéletesen szolgáltatja az előrejelezhető paramétereket így a PP modell, könnyen alkalmazható bármelyik numerikus modell esetén.

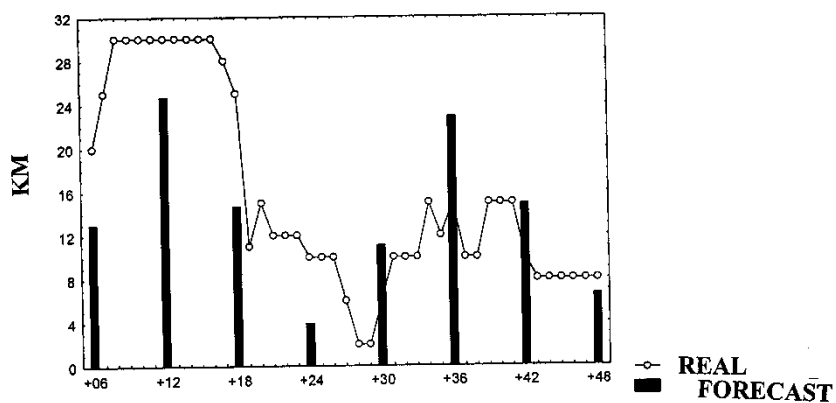
Természetesen az f függvény megkonstruálásán múlik csaknem minden. Az f függvény megadása nagyon sokféleképpen történhet. Leggyakrabban valamilyen statisztikai módszer választanak, gyakran szerepel korrelációs, multikorrelációs technika, döntési fa vagy ezek kombinációja. Hazai gyakorlatban használt módszer egy döntési fával (3. ábra) kombinált korrelációs módszer [14]. Az említett módszer sok esetben ad használható eredményt, mint azt a 4. ábra is tanúsítja. Az f függvény megkonstruálása természetesen történhet, kiválasztáson alapuló genetikai módszer vagy valamilyen tanuló algoritmus segítségével is. A leggyakrabban alkalmazott jelenlegi módszer a Neurális Hálózat (Neural Network) NN. Számos cikket lehet találni a látástávolságra vonatkozóan ilyen megoldásokra is.[15][16]

A neurális hálózatok további elterjedése várható a meteorológiai előrejelzésekben, mivel sokszor meglepően hatásosan működnek. A leggyakrabban alkalmazott NN módszer a 3 rétegű perceptron modell alkalmazása. Azt azonban el kell mondani, hogy egy megfelelően összeállított tanuló anyagon kialakított, jól beállt súlyokkal rendelkező NN modell ugyan jó gyakorlati eredményeket adhat, de az esetek nagy részében nehezen kideríthető, hogy milyen fizikai kapcsolatokat is tárt fel a NN modell, illetve mit is tanult meg valójában.



3. ábra Döntési fa hideglégréteg esetén a Kárpát-medencében

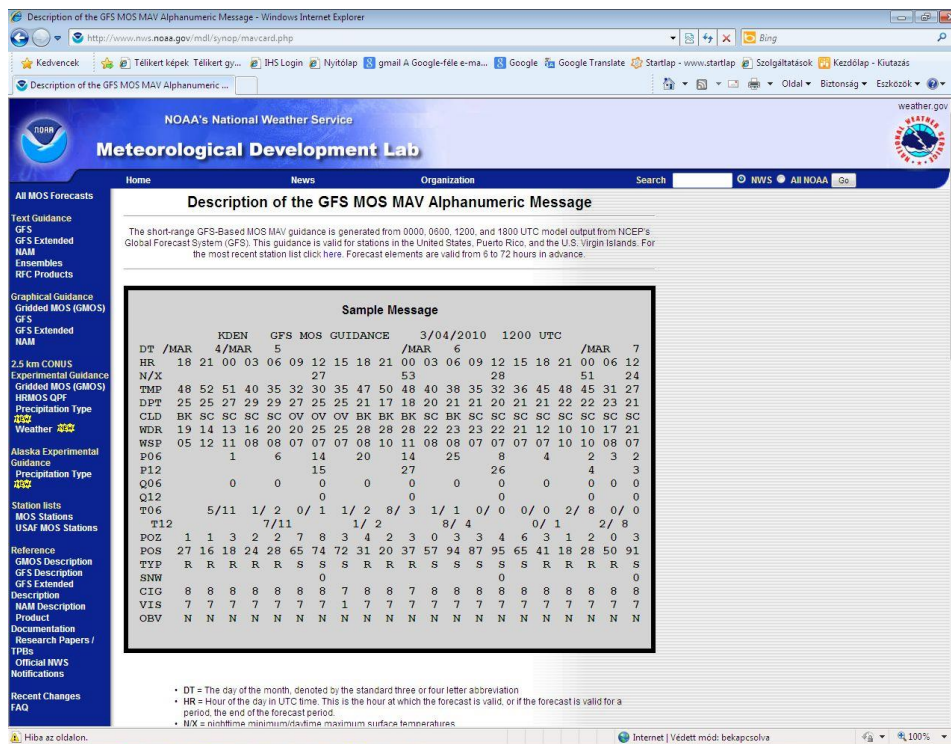
**24-25 APRIL 1997 STATION SZEGED /ALADIN-MODEL/
FORECAST AND REAL VISIBILITY**



4. ábra Előrejelzett és észlelt látástávolságok Szeged állomáson.

A MODELL OUTPUT STATISZTIKAI MÓDSZER (MOS MÓDSZER)

Ismétlően tekintjük a $\underline{z}=(z_1, z_2, z_3... z_N)$ vektor valószínűségi változót, ahol \underline{z} -t prediktornak vagy megfigyelésnek nevezzük, y legyen a becsülendő a légköri modell által nem előrejelezhető paraméter (prediktandusz) [13]. \underline{z} a NWP modell azon paramétereinek együttese, amelyeket az NWP modell előre jelezett. Ilyenkor $y=f(z_1, z_2, z_3... z_N)$ -ként áll elő a keresett paraméter. Ezzel a megoldással elvileg kiküszöböljük a modell előrejelzési hibájával összefüggő pontatlanságot. Mivel a légköri modell outputja segítségével határozzuk meg most az f függvénykapcsolatot, a módszer modell output statisztika (MOS) néven vált ismertté. A továbbiakban tekintjük át, a MOS módszer előnyeit és hátrányait. A módszer nyilvánvaló előnye, hogy alkalmazásával kiküszöbölhetők a NWP modellben fellépő szisztematikus hibák. Hátránya, hogy az így konstruált f függvény nagyban tükrözi az NWP sajátosságait és esetleg kevésbé a valóságot. További hátrányt jelent, hogy a módszer kevésbé hordozható, hiszen más fizikával rendelkező NWP modellre más f függvényt kell konstruálni, így az NWP módszerek nehezen összehasonlíthatók. Az is problémát jelent, ha a meglévő NWP modellünkön jelentős fejlesztés történik, hiszen ilyenkor már lehet, hogy nem érvényes az f függvény többé. A MOS látástávolság előrejelzésére szép módszert találhatunk a Dán Meteorológiai Intézetnél ahol az előrejelzett modell értékek és a ténylegesen bekövetkezett látástávolság értékek táblázatos és statisztikai feldolgozásával történt a látástávolság MOS szerinti előrejelzése [16]. A napjainkban széleskörűen használt GFS modellhez is fejlesztettek adott földrajzi helyekre vonatkozó MOS alapú döntést. Az 5. ábrából jól látható, hogy az előrejelzések között szerepel a látástávolság kategóriára (VIS) vonatkozó MOS döntés is.[18]



5. ábra MOS alapú döntések a GFS modelltoutputokra

Cikkünkben ismertettük a legfontosabb látástávolság előrejelzési módszerek elvi felépítését, osztályozását, taglaltuk az előnyöket és a hátrányokat egyaránt. Törekedtünk arra, hogy amennyiben arra lehetőség van, hazai és külföldi példákon keresztül megvilágítsuk ezek gyakorlati megvalósítását. A szakirodalom részletes vizsgálata során megállapítható, hogy valószínűleg kombinált módszer használatával tudnánk a legjobb eredményt elérni. ez azt jelenti, hogy az előrejelzési időszak első hat vagy nyolc órájában klasszikus analógiás vagy Fuzzy módszer kellene alkalmazni, a mérési adatokra alapozva majd ezt követően korlátos tartományú modell outputon alkalmazott PP vagy MOS módszert célszerű alkalmazni. A cikkben említett függvény konstruálásában a hagyományos statisztikai eljárásokon kívül mindenképpen érdemes lenne neurális hálózatokat is kipróbálni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Mathias D. Müller: One-dimensional ensemble fog forecasting and three-dimensional simulation experiments with sophisticated micrphysics. COST Action 722 final report 2008
- [2] WMO CAeM Working Group: Methods of interpreting numerical weather prediction output for aeronautical meteorology. WMO- No.770 Technical NOTE 195
- [3] Gulyás Ottó: fejezetek a matematikai statisztika meteorológiai alkalmazásaiból. OMSZ belső kiadványa 1981.
- [4] Bottyán, Zs, Deák, B, Wantuch, F, 2010.: A látástávolság és a köd rövid távú előrejelzésének lehetőségei. Repüléstudományi Konferencia 2010 Szolnok, 2010. április 16. Repüléstudományi közlemények 2010/2 különszám, Szolnok, 2010 április 16.
- [5] Hadobács Katalin, Tuba Zoltán, Wantuch Ferenc, Bottyán Zsolt és Vidnyánszky Zoltán: A pilóta nélküli légi járművek meteorológiai támogató rendszerének kialakítása és alkalmazhatóságának bemutatása esettanulmányokon keresztül. Repüléstudományi Közlemények, 25, (2), 405-421, 2013.
- [6] Bjarne K. HANSEN: A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather Forecasting, Vol.22, 1319-1330, 2007.
- [7] Bjarne K. HANSEN: Analog forecasting of ceiling and visibility using fuzzy sets, 2nd Conference on Artificial Intelligence, American Meteorological Society, 1-7., 2000.
- [8] Denis RIORDAN-Bjarne K. HANSEN: A fuzzy case-based system for weather prediction, Engineering Intelligent Systems, Vol.10, No.3, 139-146, 2002.
- [9] Bjarne K. HANSEN-Denis RIORDAN: Weather Prediction Using Case-Based Reasoning and Fuzzy Set Theory, url: (http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/bjarne/papers/paper_2001.pdf) (2012.10.24.)
- [10] DR. SCHUSTER György Phd-TERPECZ Gábor: Fuzzy logik alkalmazási lehetősége automata repülő szerkezetekben, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 537-541, 2012.
- [11] Diane Tzanos and Vicent Guidard: Combining of Synop and MSG data. COST Action 722 final report 2008
- [12] Dario Cano and Enric Terradelas: A conceptual model of mountaine breeze in Madrid developed to improve fog forecasting. COST Action 722 final report 2008
- [13] Matyasovszky István: Előrejelzés légköri modellekből. Természet világa. 1998/I. különszám.
- [14] Wantuch, F., 2001: Visibility and fog forecasting based on decision tree method. Időjárás 105, 29-38.
- [15] John Bjornar Bremnes and Silas Chr. michaleides: Probabilistic forecast using neural networks. COST Action 722 final report 2008
- [16] Ferenc Wantuch, Silas Michaelides 2005: Comparing different visibility forecast methods referring to Larnaca Airport Cyprus. COST 722-Short-range forecasting methods of fog, visibility and low clouds. Symposium. ABSTRACTS Larnaca Cyprus. 2005.
- [17] Claus Petersen, Niels woetmann Nielsen: Diagnosis of visibility in DMI-HIRLAM. Danish Meteorological Institut. SCIENTIFIC REPORT 00-11 2000.
- [18] <http://www.nws.noaa.gov/mdl/synop/mavcard.php>

Leposa Norbert Krisztián¹ – Beneda Károly Tamás²

TKT-1 GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰ SZABÁLYOZÁSA TPR ALAPÚ SZABÁLYOZÓRENDSZER SEGÍTSÉGÉVEL³

A gázturbinás sugárhajtóművek pontos szabályozása napjainkra elengedhetetlen követelménnyé nőtte ki magát, és a fejlesztések egyik legfőbb iránya az ilyen rendszerek fejlesztése lett. A régi hidromechanikus egységeket már elektronikus irányítással helyettesítik, hogy a hajtóművet még tökéletesebben lehessen vezérelni, ezáltal növelhető az élettartam, a megbízhatóság és számos más egyéb paraméter is javítható. Ezen munka keretében a legújabb szabályozási törvényszerűség került felhasználásra, ami a jelen technológiai szintet tekintve a TPR⁴ alapján történik. Magát a szabályozási törvényszerűséget ugyan jelenleg nem alkalmazzák önálló szabályozási céllal az iparban, hanem csak egy korrigáló jel előállítására a feladata, illetve van egy hibadetektáló feladata is, mellyel jelentősen növeli a biztonságot még súlyos mechanika sérülések esetén is. A TPR segítségével azonban önálló szabályozórendszert is létre lehet hozni, és jelen munka keretében a TKT-1 gázturbinás sugárhajtóműre egy ilyen rendszer kifejlesztése volt a cél.

REGULATION OF TKT-1 TURBOJET ENGINE WITH TPR-BASED CONTROL SYSTEM

Proper control of jet engine gas turbines has grown an indispensable requirement of our age while development purposes often mean the amelioration of control systems. Old hydro-mechanical units have almost completely been substituted by electronic control in order to achieve precise engine guidance, therefore increasing lifetime, reliability and improving a vague number of other parameters. In this thesis control was set up using the latest control rule, called Turbofan Power Ratio (TPR), which represents the present level of technology. However this control law is yet to be used in industry only in order to generate a correction signal to the gas turbine control, having an error detection function as well which increases safety in case of serious mechanical damages, TPR control law is capable of being the core of an independent control system. Developing a TPR-based FADEC system for the TKT-1 turbojet engine was the original purpose of this research.

GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰVEK SZABÁLYOZÓRENDSZEREI

A közlekedés, azon belül is a repülés a technikai fejlődés egyik legjelentősebb képviselőjévé vált napjainkra. Magának a repülésnek elengedhetetlen feltétele a szükséges tolóerő biztosítása. A nagyobb méretű utas- és teherszállító gépek meghajtásáról manapság szinte kizárólag valamilyen gázturbinás eszköz gondoskodik, ugyanis az áramlástechnikai elven működő gépek a repülésben számos előnnyel rendelkeznek a térfogat-kiszorítású dugattyús gépekkel szemben. A legjelentősebbek ezek közül a nagyobb teljesítménysűrűség és a kisebb homlokfelület, emiatt a légellenállás is kisebb, ami főleg a nagyobb teljesítmények esetén teszi ezeket az eszközöket nélkülözhetetlenné. Előnyei miatt ezen erőgépeknek igen nagy szerepük van a repülésben és éppen ezért elkerülhetetlen a folyamatos fejlesztésük, melynek legfőbb irányzata napjainkra a szabályozó rendszerek fejlesztése lett.

¹Egyetemi MSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, leposa66@gmail.com

²Mérnök tanár, AEROK Repülőműszaki Oktató és Szolgáltató Kft, karoly.beneda@aerok.hu

³Lektorálta: Dr. Varga Béla alezredes, főiskolai docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, varga.bela@uni-nke.hu

⁴TPR: Turbofan Power Ratio

1.1 Szabályozórendszerek

A gázturbinás sugárhajtóművek működtetéséhez minden esetben szükséges valamilyen szabályozórendszer megléte, melynek segítségével biztosítani lehet a megfelelő mértékű tolóerő generálását. A repülésben a biztonság és a költséghatékonyság különösen fontos szerepet tölt be, ezért a hajtóműveket a lehető legalacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztás mellett kell üzemeltetni, ezzel párhuzamosan a meghibásodások kockázatát minimálisra kell csökkenteni. Mindezen igények kielégítésére pontos és megbízható szabályozórendszerekre van szükség.

1.1.1 Szabályozórendszerek fajtái [1]

A gázturbinás hajtóművek a kialakulásuk óta számos különböző szabályozórendszerrel lettek ellátva. A legkorábban alkalmazott eszköz a forgó folyadékoszlop centrifugális erejéből származó nyomást használta fel a szabályozáshoz. Ilyen típusú hidraulikus rendszert alkalmaztak például a VK-1-esnél is[2], ami azonban nem bizonyult kielégítő pontosságúnak, ugyanis a munkaközegnek alkalmazott tüzelőanyag hőmérsékletének változásának hatására a folyadék sűrűsége is változott, így a működés során jelentős mértékű pontatlanság léphetett fel.

A hidraulikus szabályozókat a hidromechanikus rendszerek váltották fel, melyeknél a fordulatszám érzékelése röpsúllyal történik. A beavatkozás azonban továbbra is hidraulikus marad, mely tolattyúk és szervomotorok segítségével történik meg. A hidromechanikus rendszerek két fő csoportra oszthatók, közvetlenre és közvetettre, az utóbbiakon belül megkülönböztetünk visszacsatolás nélküli, merev visszacsatolásos és ernyedő vagy más néven rugalmas visszacsatolásos szabályozót. A szabályozórendszereknél ügyelni kell, hogy mind a statikus tulajdonságaik (repülési magasság, sebesség változása), mind a dinamikus tulajdonságaik (HVK⁵ pozíció változtatása) megfelelőek legyenek, így képesek legyenek biztosítani a megfelelő működést széles üzemmód tartományban, illetve kellően rövid idő alatt be lehessen avatkozni a kezelőszerven keresztül.

A fejlődés következő állomását a hibrid szabályozórendszerek jelentették. Ezek alapját egy hidromechanikus alaprendszer képezi, melyet az utazó és a felszálló üzemmód közötti tartományban korlátozott hatáskörrel rendelkező elektronikus rásegítéssel működtetnek, így kedvezőbb üzemelés biztosítható. Ilyen rendszer működik a CFM56-3 hajtóműnél, amely a Boeing 737 Classic repülőgépcsaládon teljesít szolgálatot. Ennek a rendszernek előnyei közé tartozik, hogy gyorsabb szabályozást biztosít, illetve, hogy megakadályozható a túl nagy mennyiségű tüzelőanyag befecskendezése, ezáltal a csökkenthető a maximális gázhőmérséklet. Az elektronika meghibásodása esetén, mivel a rendszer alapját hidromechanikus szabályozó képezi, továbbra is működőképes marad a hajtómű, azonban a rendszer reakcióideje hosszabb lesz, emiatt megnövekedett fogyasztás, illetve csökkent élettartam várható a nagyobb termikus és mechanikai terhelés miatt.

A szabályozórendszerek közül jelenleg a FADE(E)C⁶ rendszerek a legfejlettebbek, melyek már teljes hatáskörrel rendelkeznek, vagyis az elektronika a teljes üzemmód tartományon módosítani tudja a tüzelőanyag-betáplálást. Mivel a szakirodalomban elterjedtebben alkalmazott jelölés a

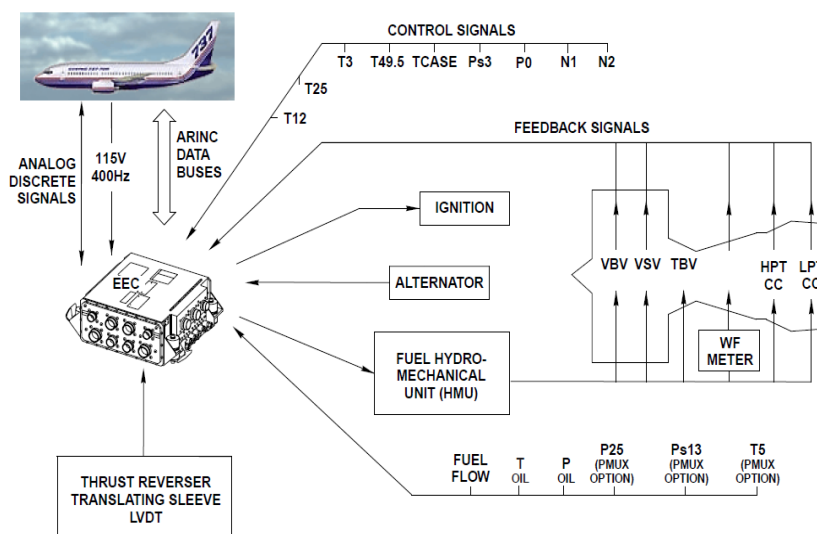
⁵ HVK: Hajtómű Vezérlőkar

⁶FADE(E)C: Full Authority Digital Electronic (Engine) Control, magyarul teljes hatáskörű digitális elektronikus (hajtómű) szabályozás

FADEC, ezért a továbbiakban ez a rövidítés kerül alkalmazásra. A szabályozó fejlett mérő-adatgyűjtő rendszerrel van ellátva, mely a hajtómű aktuális állapotát és a személyzet oldaláról elvárt üzemmódot továbbítja a FADEC-nek. A rendszer számítógépes központi egysége dolgozza fel a kapott adatokat, majd kiszámítja a hajtómű által igényelt tüzelőanyag-mennyiséget, illetve a szükséges beavatkozás mértékét, majd a beavatkozó szerveken keresztül a parancsokat végrehajtja.

Az első ilyen teljes hatáskörrel bíró digitális szabályozórendszerek egycsatornás rendszerek voltak, ami azt jelenti, hogy csak egyetlen áramkör állt rendelkezésre, így ennek meghibásodása esetén rendeltetésszerű üzemeltetése nem volt lehetséges, a hajtómű leállása is bekövetkezhetett. Az elsőként megjelenő ilyen rendszer a Pratt & Whitney PW2000-es hajtóműveken teljesített szolgálatot 1984-től, mely később Dual FADEC-et kapott [3].

Az egycsatornás berendezéseket a kétszatornás rendszerek (Dual FADEC) váltották fel, melyek segítették növelni a repülés biztonságát, ugyanis itt már két, egymástól független külön áramkör biztosította a hajtómű vezérlését. Az első ilyen szabályozó rendszer a PW4000-es hajtóművön teljesített szolgálatot 1986-tól [3]. A kezdeti konstrukciónál a két csatorna eltért, az elsődleges pontosabb, finomabb szabályozási lehetőséget biztosított, míg a másodlagos csatorna csak az elsődleges meghibásodása esetén lépett működésbe. A mai korszerű gázturbinás repülőgép hajtóműveken a két csatorna megegyezik, az egyik aktív, a másik pedig úgynevezett meleg tartalék (hot standby). Ilyen szabályozórendszer található például a CFM56-5 és a CFM56-7-es hajtóműveken, melyek ma is szolgálatot teljesítenek az Airbus 320-as repülőgépcsalád, illetve a Boeing 737 NG repülőgépcsalád egyes gépein. A CFM56-7B típusú FADEC rendszerét mutatja be az 1. ábra.



1. ábra A CFM56-7B FADEC rendszere [4]

Általában a két csatorna minden indításkor szerepet cserél. A mérő-adatgyűjtő rendszer mind a két csatorna számára külön-külön biztosítja a hajtómű aktuális állapotának adatait, így a két központi egység minden esetben kiszámítja a szükséges beavatkozás mértékét, az eltérés csupán annyi, hogy a meleg tartalék nem küld jelet a beavatkozó szerveknek, de az aktív csatorna meghibásodása esetén azonnal be tud avatkozni késleltetés nélkül, ezáltal nagymértékben nő a repülés biztonsága. A technika jelenlegi színvonalán ezek a szabályozórendszerek a legfejlettebbek, de magukat a rendszereket folyamatosan fejlesztik most is.

1.1.2 Szabályozási törvényszerűségek

A gázturbinás sugárhajtóművek szabályozása a hajtómű mechanikai, áramlástanai és hőtani folyamatai alapján valósítható meg. A hajtómű elméleti működésének figyelembevételével a szabályozási törvényszerűségek felhasználásával biztosíthatjuk a kielégítően pontos vezérlést. Ennek alapját a fizikai jellemzők határozzák meg, melyek segítségével képesek vagyunk leírni a hajtóművek pontos működését.

A szabályozási törvényszerűség megválasztásánál a cél az, hogy a tolóerő értékét a lehető legnagyobb mértékben állandó értéken tudjuk tartani, azonban ez nem biztosítható közvetlenül, ugyanis repülés közben nem mérhető. További hiányossága, hogy nem hordoz információt a gázturbina különböző részeinek mechanikai és hőterheléséről. Ezért a szabályozást közvetett módon kell megvalósítani úgy, hogy a tolóerő állandóságát a lehető legpontosabban biztosítsuk, és emellett gondoskodjunk a hajtómű túlterhelésének illetve az egyéb káros jelenségek, mint a leválás elkerüléséről. Számos szabályozási törvényszerűség terjedt el, ezek alkalmazási területe jelentősen függ attól, hogy polgári vagy katonai célú hajtóművekről van szó. Léteznek egyparaméteresek, melyeknél a fűvócső geometriája állandó, ezek a törvényszerűségek mind egy, mind több forgórészes hajtóművekre érvényesek. A kétparamétereseknél tüzelőanyag betáplálásán kívül a változtatható fűvócső geometria segítségével lehet szabályozni a hajtóművet. A háromparaméteres törvényszerűségeknek pedig, mint harmadik beavatkozó szerv a változtatható turbina állólapát-geometria az, ami további lehetőséget biztosít a beavatkozásra. Fontos megjegyezni, hogy a kompresszorok esetében alkalmazott változtatható geometria nem tartozik a szabályozási paraméterek közé, ugyanis ennek a pompázs, illetve a leválás elleni védelemben van kiemelt szerepe. Léteznek továbbá kombinált szabályozások is, ahol különböző repülési üzemmód-tartományokban más fajta törvényszerűségeket alkalmaznak, amennyiben egyetlen megoldás nem szolgáltatna kellő hatékonyságot vagy stabilitást [5].

A szabályozási törvényszerűségek egyik képviselője az állandó fordulatszám szerinti szabályozás volt. A szabályozás egyszerű, azonban a tolóerőt a fordulatszám és a turbina előtti hőmérséklet együttesen határozza meg és itt most a fordulatszám állandó, így a tolóerő állandósága nem biztosítható megfelelően. További problémát jelent, hogy ha túl nagy a turbina előtti hőmérséklet, akkor korlátozásra van szükség, ha viszont a hőmérséklet értéke túl alacsony, akkor a hajtómű nincs kellő mértékben kihasználva. Lehetőségünk van állandó turbina előtti hőmérséklet szerint szabályozni, azonban itt sem biztosítható a tolóerő állandósága. A hőmérséklet mérése nehézkes az inhomogén hőfokmező miatt, illetve a korszerű gázturbinákban a hőmérséklet értéke elérheti az 1700 K-t is, továbbá a hőmérő beállási idővel rendelkezik.

További megoldás lehetne az állandó átszámított fordulatszám (1) szerinti szabályozás, azonban a hőmérséklet mérése régebben elég nehéz problémának bizonyult.

$$n_a = n \cdot \sqrt{\frac{288}{T_0^*}} \quad (1)$$

- n_a az átszámított fordulatszám
- n a fizikai fordulatszám
- T_0^* a környezeti torlóponti hőmérséklet



A lehetőségek jobb kihasználása végett, mivel a fent említett módszerek egyike sem bizonyult teljes mértékben kielégítőnek, így kombinált szabályozás segítségével az egyes törvényszerűségeket más-más üzemmód-tartományon alkalmazva hatékonyabb szabályozás valósítható meg.

Amennyiben a hajtómű rendelkezik változtatható geometriájú fűvócsóval, akkor az hatással van a szabályozásra, ugyanis ez egy további független változót jelent. Alapvetően két lehetőség adódik, az első, hogy a fordulatszámot és a turbina előtti hőmérsékletet tartjuk állandó értéken. A fordulatszámot a tüzelőanyag betáplálás segítségével, a turbina előtti hőmérsékletet pedig a fűvócsó keresztmetszetének változtatásával szabályozzuk. Mivel mind a kis, mind a nagy méretezési nyomásviszonyú kompresszoroknál az együttműködési görbéket a leválási határral párhuzamos irányba fordítja a szabályozás, így bővül a leválás mentes működési tartomány. Továbbá jó a tolóerő szerinti kihasználtsága is. Azonban a turbina előtti hőmérséklet érzékelés itt is problémát jelent.

A másik lehetőség a kétparaméteres szabályozás megvalósítására, hogy az átszámított fordulatszámot és a turbina előtti hőmérsékletet tartjuk állandó értéken. A szabályozás előnye, hogy a repülési sebesség növekedésével az együttműködési pont távolodik a leválási határtól. A fordulatszám itt azonban nem lesz állandó, így nem tudja megfelelő mértékben biztosítani a jó tolóerő szerinti kihasználtságot, illetve a másik hátrány itt is a hőmérséklet mérésével kapcsolatos probléma.

A kétparaméteres szabályozásnál is van lehetőség arra, hogy kombinált szabályozást valósítsunk meg. Kisebb repülési sebességek esetén a fordulatszámot és a turbina előtti hőmérsékletet tartjuk állandó értéken, míg a nagy sebességek esetén a fordulatszám helyett az átszámított fordulatszámot, így a teljes működési tartományban kellően távol maradhatunk a leválási határtól.

Két vagy több forgórészes hajtóművek esetén is lehetőség van egyparaméteres, kétparaméteres, háromparaméteres és kombinált szabályozásra is. A szabályozási törvényszerűségek továbbra is ugyanúgy érvényesek, mint az egy paraméteresnél. A több forgórészes gázturbináknál azonban valamivel nagyobb a szabályozási lehetőségek száma. A fordulatszám állandóságát alkalmazhatjuk a nagynyomású kompresszor tengelyére vagy a kisnyomású kompresszor tengelyére is. Ugyanez érvényes az átszámított fordulatszám szerinti szabályozás esetén is.

A szabályozási törvényszerűségek közül azonban kiemelkedik az úgynevezett EPR^7 szerinti szabályozás, melynek meghatározó szerepe van a mai korszerű gázturbinás sugárhajtóművek vezérlésében. A tolóerő állandóságát ez a törvényszerűség biztosítja a legnagyobb mértékben. A hajtómű tolóereje adott repülési magasság, sebesség, hőmérséklet és rögzített gázkar-állás mellett:

$$F_t = f\left(\frac{p_6^*}{p_1^*}\right) = f(EPR) \quad (2)$$

- p_1^*, p_6^* a kompresszor belépő és a fűvócsó előtti torlóponthoz tartozó nyomása

Tehát az EPR -ra érvényes összefüggés:

$$EPR = \frac{p_6^*}{p_1^*} \quad (3)$$

⁷ EPR : Engine Pressure Ratio

A szabályozási törvényszerűség alapját tehát egy olyan kifejezés alkotja, ami a tolóerő nagyságával közvetlen összefüggésben van, így a tolóerő állandó értéken tartása nagyobb mértékben biztosítható. A szabályozáshoz szükséges két paraméter mérése is viszonylag egyszerűen kivitelezhető, ezért ez a törvényszerűség igen kedvező a gázturbinák szabályozásához.

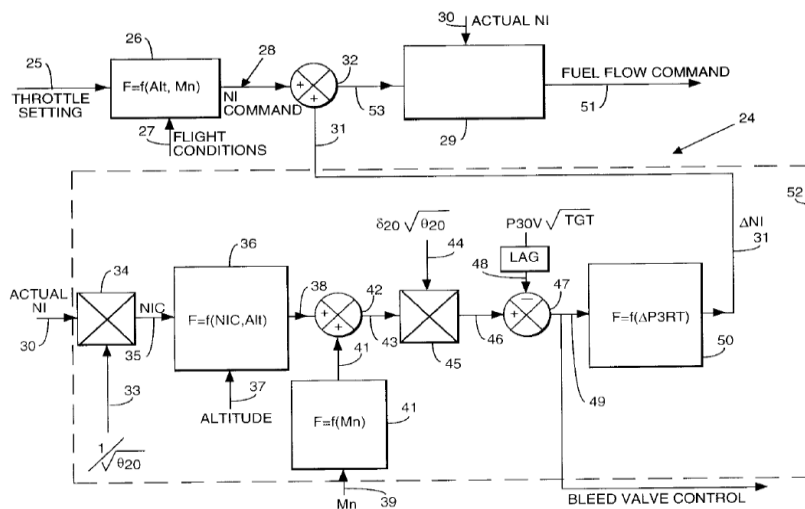
A szabályozási törvényszerűségek közül a TPR szerinti szabályozás [5] tekinthető a legmodernebb törvényszerűségnek, melynek alapegyenletét a 4. egyenlet írja le.

$$TPR = \frac{p_2^*}{p_1^*} \cdot \sqrt{\frac{T_g^*}{T_1^*}} \quad (4)$$

- p_1^*, p_2^* a kompresszor be- és kilépő torlóponti nyomása
- T_1^*, T_g^* a kompresszor és a turbina belépő torlóponti hőmérséklete

A törvényszerűséget a nagy kétáramúsági fokú, két vagy több forgórészes gázturbinás sugárhajtóművek szabályozásához fejlesztették ki, melyeknél a kompresszor első fokozata egy nagy nyomásvizony létrehozására alkalmas ventilátor. Alkalmazásra kerül a Rolls-Royce Trent900-as hajtóművön, ami az Airbus 380-ason, illetve a Rolls-Royce Trent1000-es hajtóművön, ami pedig a Boeing 787 repülőgépeken teljesít szolgálatot. Ez a szabályozási módszer alkalmas arra, hogy a tolóerő nagyságát állandó értéken tartsa, továbbá a korábbi EPR alapú szabályozással ellentétben képes a feladatát akkor is ellátni, ha a hajtómű mechanikai sérülést szenvedett. Ezzel a szabályozórendszer tovább növelni a repülés biztonságát, ami napjainkra kiemelkedően fontos szerepet tölt be. Egy a Rolls-Royce által kifejlesztett TPR alapú szabályozó blokkdiagramját mutatja a 2. ábra. Az ábrán a szaggatott téglalappal kiemelt rész a TPR jelének előállítását végző blokkot mutatja be.

Maga a szabályozó továbbra is az NI (kisnyomású forgórész átszámított fordulatszáma) jel alapján adja ki az utasítást a tüzelőanyag-adagoló rendszernek, azonban a TPR jelének alapján előállításra kerül egy ΔNI jel, amit egy összegzőn keresztül hozzáadunk az eredeti NI jelhez, így a tüzelőanyag-adagoló számára egy, a szabályozás megvalósításához alkalmasabb jel kerül felhasználásra. Amint az a 2. ábrán is látható, mind az NI jel mind a ΔNI jel kialakításában közre játszanak további paraméterek. Ezek közül néhány csak felsorolás szintjén megemlíthető: gázkar aktuális pozíciója, repülési magasság, repülés Mach-száma.



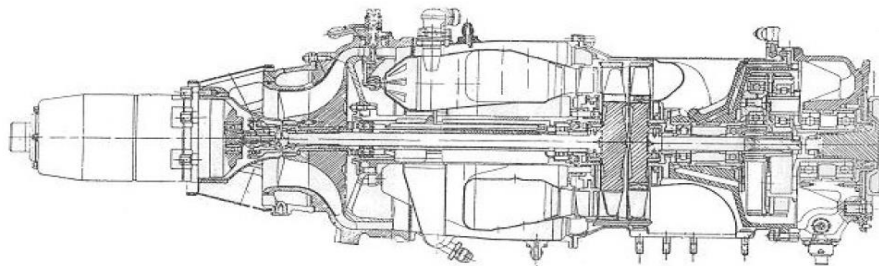
2. ábra TPR alapú szabályozórendszer blokkdiagramja [5]

A TPR alapú szabályozórendszer a hajtómű belső működését pontosabban írja le. Mechanikai sérülés esetén képes detektálni a hibát, továbbá alkalmas arra, hogy hajtómű szabályozható maradjon. Más szabályozórendszerek esetén, ha ventilátor lapátok sérülést szenvednek, kitörnek, akkor változatlan gázkar állás mellett a hajtómű nem lesz képes tartani a tolóerőt állandó értéken, illetve egyes esetekben hajtóműleállás következhet be.

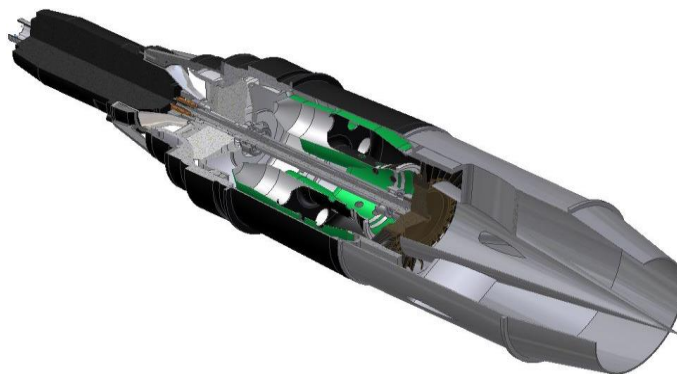
A TPR alapú szabályozás önmagában is megfelelőnek tűnik arra, hogy ne csak, mint egy fordulatszám-módosító modulként jelenjen meg egy gázturbinás hajtómű szabályozórendszerében, hanem önálló rendszerként kerüljön alkalmazásra.

1.2 TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű[1]

A TKT-1 (4. ábra) egyforgórészes, egyfokozatú centrifugálkompresszorral, egyfokozatú axiális turbinával és egyenáramú gyűrűs égéstérrel rendelkező egyáramú sugárhajtómű. A TKT-1-es egy TSz-21-es fedélzeti indító gázturbinából (3. ábra) lett kialakítva a munkaturbina és a hozzá tartozó kihajtás eltávolításával, melyek helyére egy megfelelő kialakítású fúvócső került. A későbbi fejlesztések során a hajtóműre fel lett szerelve egy GSF⁸ redőnyzet is, melynek segítségével a hajtómű különböző terhelési állapotokban is vizsgálhatóvá vált.



3. ábra A TSz-21 fedélzeti indító gázturbina [6]



4. ábra A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű 3D-s modellje [7]

A TKT-1-es levegővel való ellátásnak biztosításához egy függőlegesen elhelyezett szívócsatorna került kialakításra. A szívócsatorna el lett látva egy DIN 5221 szerinti szabványos mérőperemmel, melynek segítségével mérhető az átáramlott közegmennyiség. A kedvező kialakításnak köszönhetően a nyomásvesztés értéke alacsony, $\alpha = 0,955$ -re adódik.

A gázturbina elhelyezésére egy próbapad szolgál, melyen helyett kapott a hajtóműnek az összes

⁸ GSF: Gázkiáramlás sebesség-fokozó

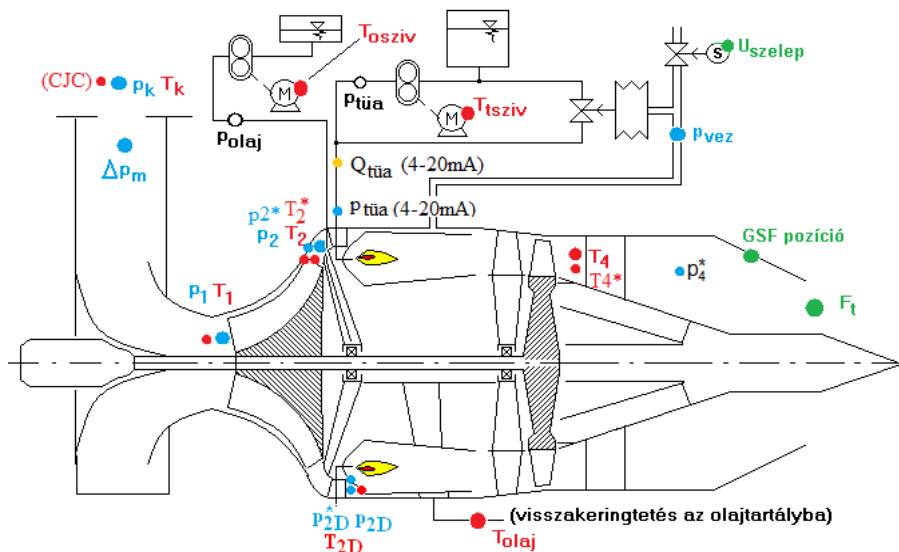
segédberendezése, továbbá a kezelőpult is. A zártszelvényekből kialakított állványon a hajtómű függesztve lóg, ezáltal biztosított egy kismértékű vízszintes elmozdulás, ennek megfelelően lehetőség nyílik a tolóerő mérésére is.

1.3 A szabályozás megvalósításához szükséges rendszerek[1]

A gázturbinák szabályozási feladatának ellátásához szükségesek mérő és adatgyűjtő rendszerek, továbbá kezelőszervek, illetve beavatkozó szervek. Ezen rendszerek együttes megléte esetén a szabályozás lehetősége adott.

A mérő és adatgyűjtő rendszer a hajtóműre jellemző fizikai paraméterek sokaságát méri, illetve elektromos jel formájában továbbítja a feldolgozó egységnek, ami például egy számítógép, vagy egyszerűbb esetben egy mikrokontroller. A mért adatok áramlási, hőtani és mechanikai jellemzők, melyek egy gázturbina esetén a nyomás, a hőmérséklet és a fordulatszám.

A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű szabályozásához szükséges ismerni a hajtómű állapotát leíró fizikai paramétereket. A működés lehető legpontosabb megismerése érdekében a lehető legtöbb helyen mérni kell a különböző fizikai mennyiségeket. A fejlesztések során, egyre több mérési hely lett kialakítva a TKT-1-en ezekről egy rövid áttekintést az 5. ábra ad.



5. ábra A TKT-1 mérési helyei [6]

Az 5. ábra jelöléseit alkalmazva a hajtómű jelen állapotában a következő fizikai mennyiségek, paraméterek mérése lehetséges:

- környezeti nyomás: p_k
- környezeti hőmérséklet: T_k
- beszívó mérőszáj nyomásesése: Δp_m
- kompresszor előtti torlóponyi nyomás: p_1^*
- kompresszor előtti statikus hőmérséklet: T_1
- kompresszor utáni statikus nyomás: p_2
- kompresszor utáni torlóponyi nyomás: p_2^*
- kompresszor után, a diffúzorban mért torlóponyi nyomás: p_{2d}^*

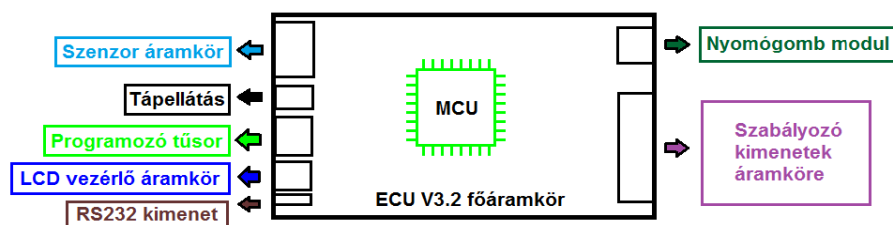
• kompresszor utáni statikus hőmérséklet:	T_2
• kompresszor utáni torlóponyi hőmérséklet:	T_2^*
• kompresszor után, a diffúzorban mért torlóponyi hőmérséklet:	T_{2d}^*
• turbina utáni torlóponyi nyomás:	p_4^*
• turbina utáni statikus hőmérséklet:	T_4
• turbina utáni torlóponyi hőmérséklet:	T_4^*
• hajtómű vezérlőkar pozíció:	HVK
• gázsebesség-fokozó pozíció:	GSF
• tolóerő:	F_t
• szelepfeszültség:	U_{szelep}
• vezérlőnyomás:	p_{vez}
• olajhőmérséklet a tartályban:	T_{olaj}
• tüzelőanyag-szivattyú motorjának hőmérséklete:	T_{tsziv}
• olajszivattyú motorjának hőmérséklete:	T_{osziv}

A mérőrendszer által a hajtómű összes, a működés szempontjából fontos adata begyűjthető, így részletes és pontos leírást kaphatunk, az áramlástechnikai gépen belül végbenő fizikai folyamatokról. A mért paraméterek széles választékának segítségével a TKT-1 gázturbinás sugárhajtóművön többféle szabályozás is megvalósítható. Az alfejezet további részében a mérőeszközök pontos leírása kerül tárgyalásra.

2. A SZABÁLYOZÓ RENDSZER HARDVERES ÉS SZOFTVERES FELÉPÍTÉSE

A TKT-1 gázturbinás sugárhajtóműre a jelenlegi cél egy teljes hatáskörű digitális elektronikus szabályozórendszer kifejlesztése, mely képes a TPR szerinti szabályozási törvényszerűség alapján vezérelni a hajtóművet. ECU, mely az Engine Control Unit kifejezés rövidítése, ezt a feladatot hivatott ellátni, melyet a modell gázturbinák, illetve a TKT-1 szabályozására fejlesztettek ki a VRHT⁹ jogelődje a Repülőgépek és Hajók Tanszéken.

2.1 Az ECU V3.2



6. ábra Az ECU V3.2 moduláris kialakítása [8]

Az ECU V3.2 egy egycsatornás FADEC rendszer, mely képes ellátni minden mérési és vezérlési

⁹VRHT: Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék



feladatot, ami a TKT-1, illetve a modell sugárhajtóművek üzemeltetéséhez szükséges. A szabályozórendszer a korábbi kialakításoktól eltérően moduláris felépítésű, ezt mutatja a 6. ábra.

Felépítését tekintve tartalmaz egy Freescale MC9S08DN60, 8 bites Neumann architektúrájú CPU¹⁰-t, 60 kB FLASH programmemóriával, 2kB EEPROM¹¹-al, 2db 16 bites számlálóval ellátott mikrokontrollert, mely rendelkezik még 12 bites A/D¹² átalakítóval is, ami 10 csatornás. A kijelzésért egy Raystar RC1602-es LCD¹³ felel, mely két sorban 16 karakter megjelenítésére alkalmas. A rendszerbe be van építve egy 74HCT164 típusú SIPO IC¹⁴, ennek két adat bemenete, egy órajel vonala és nyolc kimenete van. A shiftregiszter segítségével, a mikrokontrollerrel történő LCD vezérléshez csak 3 vonalra van szükség, mint az előző verzióknál. A szabályozó működés közbeni megfigyelhetőségének és az esetleges beavatkozáshoz 4 nyomógomb került elhelyezésre. A nyomógombok segítségével a felhasználó és a rendszer között kétirányú kommunikáció valósítható meg.

Az ECU V3.2 további elemei a következő paraméterek mérésére alkalmas eszközök alkotják:

- | | |
|---|---------|
| • környezeti nyomás: | p_k |
| • kompresszor előtti torlóponti nyomás: | p_1^* |
| • kompresszor utáni torlóponti nyomás: | p_2^* |
| • turbina utáni torlóponti nyomás: | p_4^* |
| • környezeti hőmérséklet: | T_k |
| • turbina utáni torlóponti hőmérséklet: | T_4^* |
| • hajtómű vezérlőkar pozíció: | HVK |
| • gázsebesség-fokozó pozíció: | GSF |

A környezeti nyomást egy MPXHZ6115-ös, 15–115 kPa-os méréstartományú abszolút nyomásérzékelő méri. A kompresszor előtti nyomást egy MPXV7002DP ± 2 kPa-os méréstartományú differencia nyomásérzékelő, míg a kompresszor utáni nyomást egy MPXHZ6400A 15–400 kPa-os méréstartományú abszolút nyomásérzékelő közvetíti a mikrokontrollernek. A turbina utáni nyomást pedig egy MPXV7025-ös, ± 25 kPa-os méréstartományú differencia nyomásérzékelő méri. Az alkalmazott nyomásérzékelők mindegyike piezorezisztív elven működik, hőmérséklet kompenzált és rendelkezik belső, lézerrel trimmelt erősítéssel, ami 0–5 V közötti kimenetet eredményez a néhány 10 mV helyett.

A környezeti hőmérsékletet a mikrokontrollerbe beépített hőmérő segítségével mérjük. A turbina utáni torlóponti hőmérséklet mérésére egy K-típusú, Kromel/Alumel (Nikkel-króm/Nikkel-alumínium) hőelem szolgál, melynek jele keresztülmegy egy belső erősítőn, ami 50-szeres erősítést produkál.

A GSF pozíció méréséhez potenciométer szolgáltatja az analóg jelet, mely aztán digitalizálásra kerül a mikrokontrollerben. A HVK pozíció PWM¹⁵ jel formájában kerül feldolgozásra az

¹⁰ CPU: Central Processing Unit

¹¹ EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

¹² A/D: Analóg/Digitális

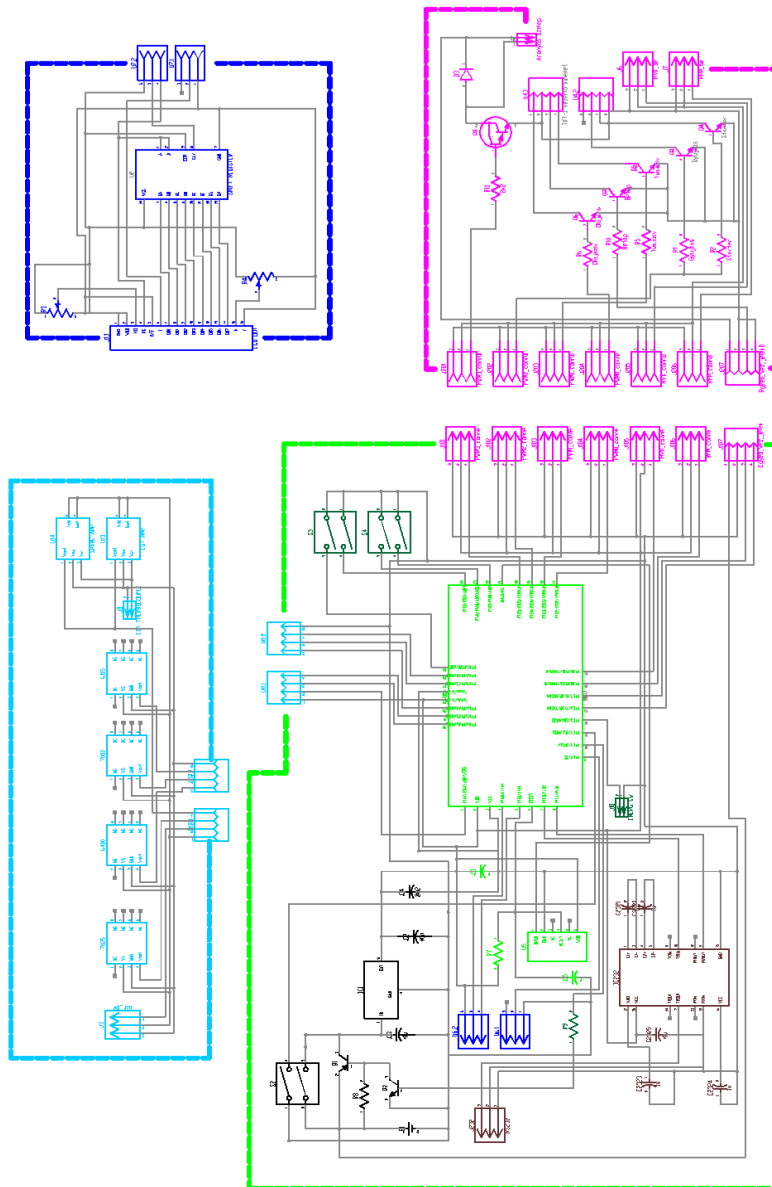
¹³ LCD: Liquid Crystal Display

¹⁴ SIPO IC: Serial In Parallel Out Integrated Circuit

¹⁵ PWM: Pulse Width Modulation

MCU¹⁶-ban.

Az ECU V3.2 kapcsolási rajzát mutatja a 7. ábra, amelyen világoszölddel került feltüntetésre a mikrokontroller, fekete színnel a tápellátásért felelő rész, sötétkékkel pedig a kijelzésért felelős modul elemei. Az analóg bemenetek modulja világoskék színnel, a PWM kezelőszervei pedig rózsaszínnel jelöltek. Sötétbarna színben az RS232 szabványon alapuló kommunikáció működéséhez szükséges szintillesztő áramkör látható. Sötétzölddel a nyomógombok kerültek jelölésre.



7. ábra Az ECU V3 kapcsolási rajza [8]

A mikrokontroller programkódja C-ben, egyes részei Assemblyben kerültek megírásra Freescale CodeWarrior segédprogram segítségével. A forrásfájlok és feladataik a következők:

- main.c: ez maga a fő program
- asm_main.asm: a kezdeti értékeket tartalmazza, illetve a feliratokat a kijelzéshez

¹⁶ MCU: MicroController Unit



- `MCUinit.c`: ez felel az inicializálásért, a nyomógombokért, a PWM jelek generálásáért, és még sok más egyéb funkcióért is
- `MCUinit.h`: egy C header, mely az `MCUinit.c`-hez tartozó megszakítás kezelő függvények deklarációit tartalmazza
- `ECU3rutinok.c`: ez a forrásfájl a működést megvalósító függvények forráskódját tartalmazza

Az ECU V3.2 szabályozórendszert feszültség alá helyezve az első lépés a mikrokontroller inicializálása. Ennek végeztével az LCD kijelző inicializálása következik, ennek megtörténte után megjelenik egy üdvözlőképnyő. A bekapcsolási folyamat végeztével a nyomógombok segítségével lehetőség adódik az egyes menüpontok közötti navigációra, a működési paraméterek módosítására, illetve a szabályozási üzemmód kerülhet kiválasztására. Az ECU V3.2 segítségével lehetséges p_2^* törvényszerűség szerint, EPR és TPR alapján szabályozni, illetve a rendszer képes a GSF szerinti vezérlésre is, ami azt jelenti, hogy a GSF pozícióhoz egy fiktív HVK értéket rendel, a teljesen nyitott állásához alapjáratot, a zárt álláshoz a maximális fordulatszámot és a köztes pozíciókhoz a két véghelyzet között egy egyszerű lineáris összefüggéssel rendel HVK értékeket. A változtatható GSF-fel rendelkező hajtóműveknél általában egyértelmű $GSF = f(HVK)$ függvény írja le az összefüggést, tehát nem függetlenek egymástól. A TKT-1 esetében azonban nincs lehetőség a GSF automatikus mozgatására, itt a felhasználó mozgatja a GSF-et és a rendszer ehhez rendeli a HVK értéket. A rendszernek van egy különleges üzemmódja is, ami azt jelenti, hogy egy a felhasználó által előre definiált középfeszültség mellett az arányos szelepre egy négyszögjelet vezérel ki a mikrokontroller, melynek amplitúdó nagysága szintén a felhasználóra van bízva. Az egyes almenükben beállíthatók a következő paraméterek:

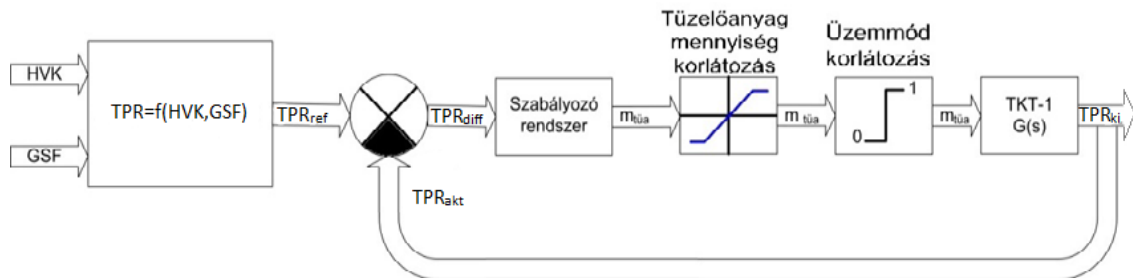
- $osztó$: p_2^* törvényszerűség beállási idejét befolyásoló tényező
- $p_{2\ min}^*$: a legkisebb kivezérelhető p_2^* érték
- $p_{2\ max}^*$: a legnagyobb kivezérelhető p_2^* érték
- EPR_{min} : a legkisebb kivezérelhető EPR érték
- EPR_{max} : a legnagyobb kivezérelhető EPR érték
- TPR_{min} : a legkisebb kivezérelhető TPR érték
- TPR_{max} : a legnagyobb kivezérelhető TPR érték
- P : a PID szabályozó arányos tagjának együtthatója
- I : a PID szabályozó integrálós tagjának együtthatója
- D : a PID szabályozó deriválós tagjának együtthatója

A szabályozórendszer, figyelembe véve, hogy FADEC rendszer, az üzemmód kiválasztása után képes a teljes indítási folyamat önálló elvégzésére. A hajtómű üzemmódra való kifutása után a beállított szabályozási törvényszerűség alapján a szabályozórendszer látja el a hajtómű vezérlési feladatait. Működés közben is lehetséges az egyes paraméterek módosítása, így könnyebb az egyes finomhangolási műveletek elvégzése. Az üzemeltetés során a felhasználó számára, az üzemmódtól függően megjelennek a kijelzőn a legfontosabb paraméterek, melyek alapján könnyen ellenőrizhető a gázturbina állapota. Az EEPROM-ban rögzítésre kerülnek az egyes üzemi idők, az indításkori maximális gázhő és más fontos adatok, melyek segítségével a gázturbina

életciklusa nyomon követhető. A soros vonalon keresztül adatok letöltése és feltöltése is lehetséges. Az ECU V3.2 beépített önellenőrző képességgel rendelkezik (Built-in Test Equipment, BITE), ez azt jelenti, hogy képes a rendszer kiszűrni a hibás bemenőjeleket. Így nem kerülhetnek be a rendszerbe negatív p_1^* , p_2^* , p_4^* nyomásértékek, illetve a HVK és GSF esetén, ha a megengedett tartományon kívül esik a pozíciójuk, akkor megtartják előző értelmes értéküket.

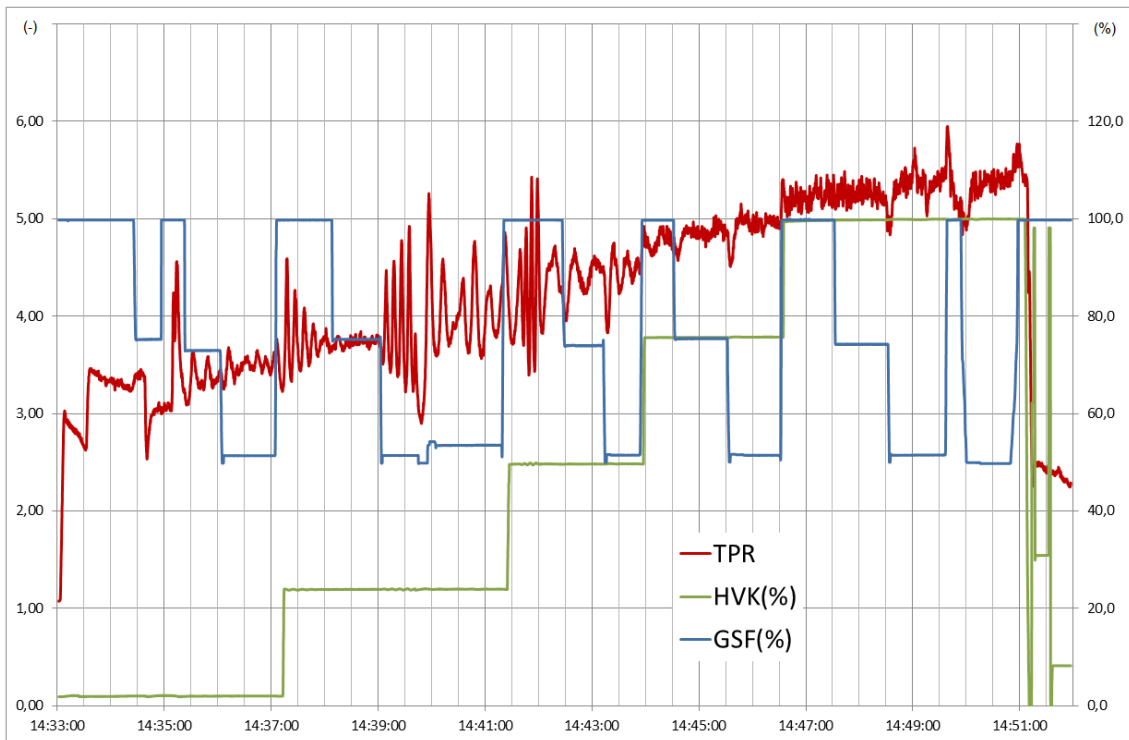
2.2 A szabályozórendszer [1]

Az ECU V3.2 segítségével a TKT-1 gázturbinás sugárhajtóművön TPR szabályozási törvényszerűség megvalósítása volt a cél. A szabályozás működésének alapját mutatja be a 8. ábra.



8. ábra A szabályozás blokkdiagramja [1]

Az első feladat a szabályozás gyakorlati kivitelezéséhez a hajtómű vezérlőkar, illetve a gázsebesség-fokozó és a TPR közötti jellegfelület meghatározása volt, mely alapján később a TPR referencia értékei meghatározásra kerülhetnek. Ennek a jellegfelületnek a meghatározásához az első lépés a hajtóművön végzett mérés volt, ennek eredményét a 9. ábra mutatja.

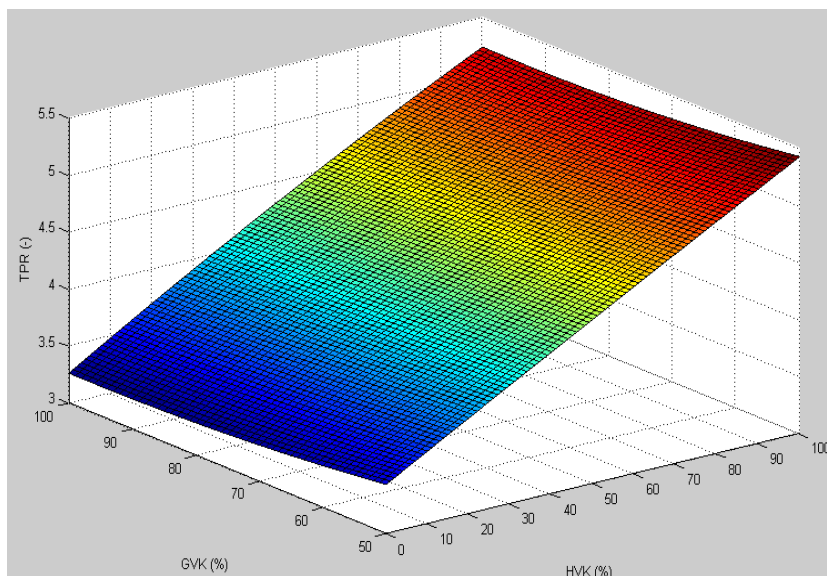


9. ábra HVK és GSF pozíciók hatása a TPR értékére [1]

A mérés során a tüzelőanyag-rendszer elégtelen működéséből fakadóan a beállási idő jelentősen hosszabb volt a szokásosnál, illetve a 0-50%-os HVK tartományban hosszú periódusú lengések voltak jelen, ami megnehezítette az adott vezérlőkar-pozíciókhoz tartozó értékek leolvasását, emiatt átlagolást kellett végezni az adott tartományokban. A 9. ábra alapján látható, hogy a mérés 50%-os, 75%-os és 100%-os GVK¹⁷ pozíciókhoz lettek elvégezve 0%-os, 25%-os, 50%-os, 75%-os és 100%-os HVK pozíciók mellett. Így tehát a TPR jellegfelület meghatározásához 15 mérési pont volt adott. A mérésből látható, hogy a TPR értéke a fordulatszám növekedésére jelentős változást mutat, míg a GSF változtatására csak mérsékelt változást produkál. A közelítés a $TPR = f(HVK, GVK)$ meghatározásához keresztregresszióval történt MATLAB program segítségével. A keresztregresszió lényege, hogy először a $TPR = f(HVK)$ függvényeket vizsgáljuk meg, állandó GVK pozíciók mellett, majd figyelembe vesszük a GSF pozíciók változását is. A keresztregresszióval meghatározott kétváltozós függvény a következő alakban adódott:

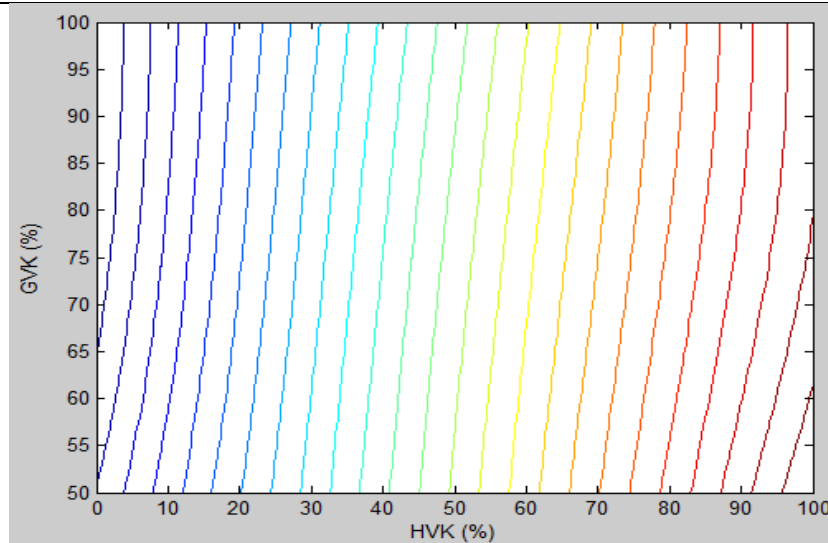
$$\begin{aligned}
 TPR(HVK, GVK) = & \frac{0,0369 \cdot GVK^2 - 5,8885 \cdot GVK + 197,22}{10^6} \cdot HVK^2 + \\
 & + \frac{-0,0035 \cdot GVK^2 + 0,5576 \cdot GVK + 1,3}{10^3} \cdot HVK + \\
 & + 0,0001 \cdot GVK^2 - 0,0148 \cdot GVK + 3,9794
 \end{aligned} \tag{5}$$

A kétváltozós függvény reprezentációit mutatja a 10. ábra és a 11. ábra.



10. ábra A TPR változása a HVK és a GVK függvényében [1]

¹⁷ GVK: Gázsebesség-fokozó Vezérlőkar

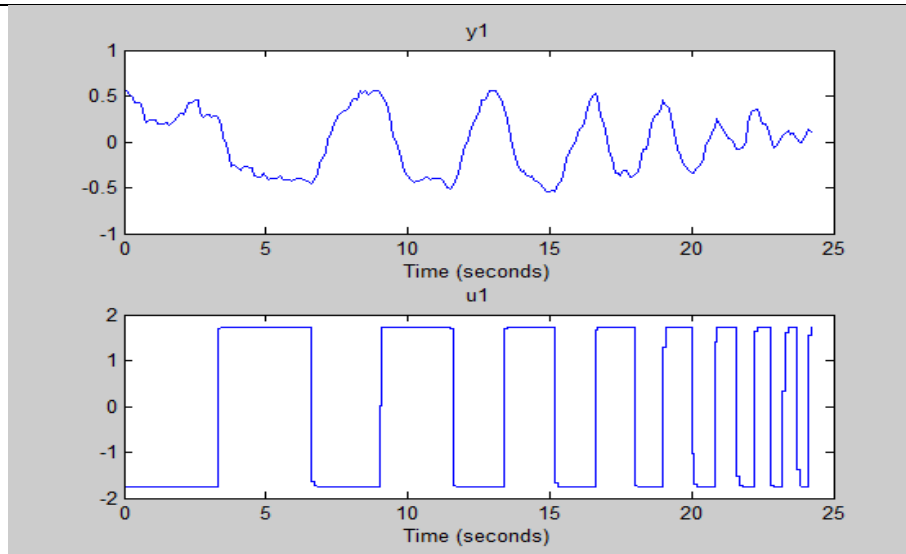


11. ábra A TPR szintvonalas ábrázolása a HVK és a GVK függvényében [1]

A $TPR = f(HVK, GVK)$ függvény meghatározásával tehát minden adott hajtómű vezérlőkar és GSF vezérlőkar pozícióra meghatározható a referencia TPR értéke.

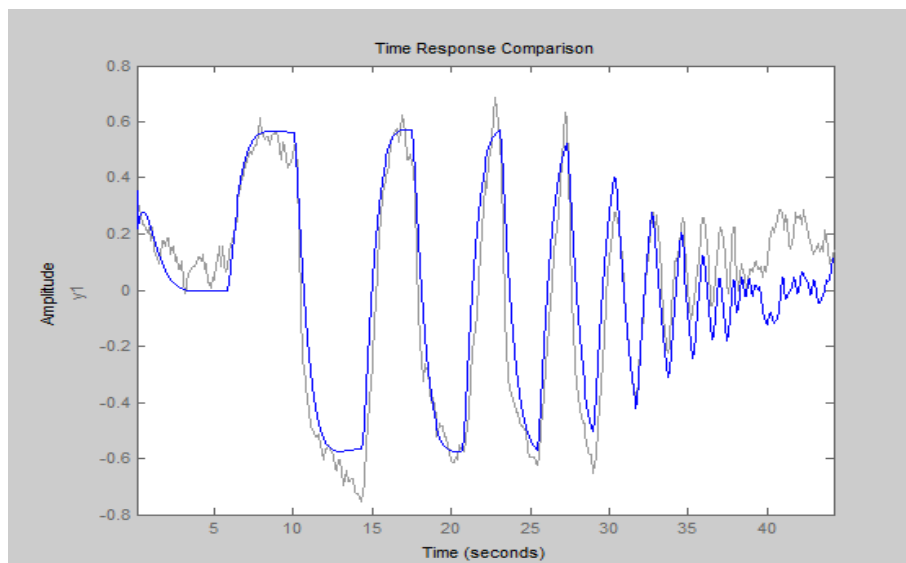
A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű szabályozásának alapját az képzi, hogy a referencia TPR értékét a rendszer összehasonlítja az éppen aktuálisan mért TPR értékkel, és a kettő különbségéből előállít egy differencia TPR értéket, ezt a különbséget folyamatosan csökkenti egészen addig, míg a referencia érték és a mért érték között nem lesz eltérés. Ezt egy PID szabályozó segítségével valósítja meg a szabályozó rendszer, melynek megtervezéséhez szükséges a TKT-1 átviteli függvényének ismerete, majd ennek függvényében a PID szabályozó megtervezhető.

Az átviteli függvény meghatározása a rendszer identifikációjának segítségével történt meg. Az identifikációs mérés a PELE V3 szabályozórendszer [6] kifejezetten erre a célra alkalmas „különleges üzemmódjával” történt meg. Ezen üzemmód esetén a szelepfeszültségre, mint bemenetre egy növekvő frekvenciájú négyszögjelet vezérlünk ki. A szelepfeszültségre a gázturbina által adott válasz TPR értékek rögzítésre kerültek, és ezen adatokból lett meghatározva a rendszerünk átviteli függvénye. Három mérést végeztünk, az eredmények megfelelőségének biztosítása érdekében. A turbina utáni torlóponyi hőmérséklet mért értékei jelentős szórást mutattak, emiatt a paraméterek felhasználhatósága érdekében a késleltetés mentes tízes periódusú mozgóátlaguk került felhasználásra a TPR meghatározásakor. Az első mérés 17V-os közép feszültség mellett lett elvégezve 1,5V-os amplitúdóval. A mérés után a hajtómű leállítására volt szükség egy apróbb műszaki hiba miatt, lecsúszott egy a szabályozáshoz szükséges nyomásmérő tömlő, majd a helyreállítás megtörténte után módosításra került a szelepfeszültség amplitúdója, változatlan 17V-os közép feszültség mellett 1,5V-ról 1,75V-ra lett emelve. A harmadik mérésnél sem a közép feszültségen, sem az amplitúdón nem történt változtatás, a mérés eredményét a 12. ábra mutatja, melyen látható, hogy mind a bemenet, mind a kimenet normalásra került, ugyanis a szabályozórendszer számára a differencia TPR értéke szükséges. A TPR középértékei a három mérésnél sorrendben 5.0296, 4.8678, 4.8542, az eltéréseket a gázturbina melegekedése okozta. Figyelembe véve, hogy a harmadik mérés elvégzése során a TKT-1 szerkezeti egységei közelítőleg már átmelegedtek, így a harmadik mérés eredményei, illetve egyéb számításai tekinthetőek a legpontosabbnak, ezért a továbbiakban az ehhez tartozó diagramok kerülnek feltüntetésre.



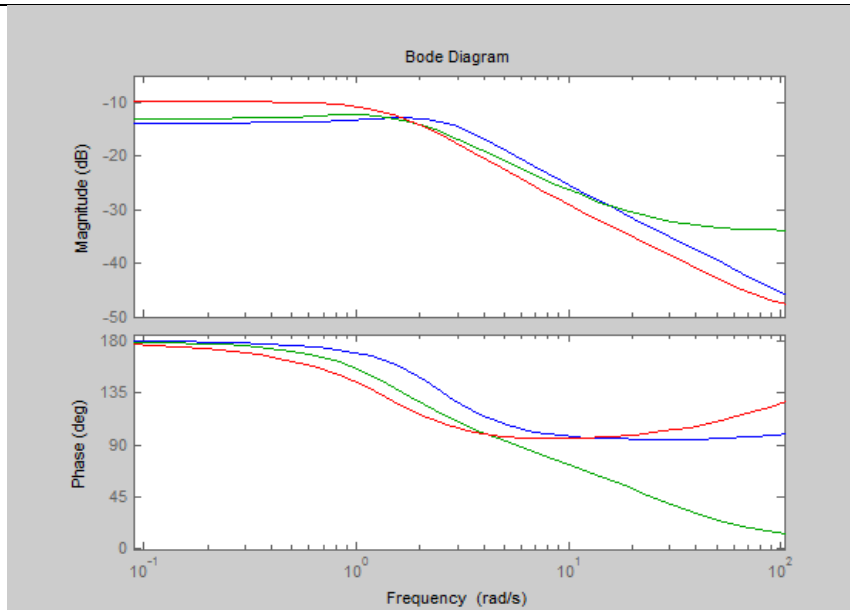
12. ábra A harmadik mérés bemenetének (lent) és kimenetének (fent) normáltjai

A mérések elvégzése után MATLAB környezetben található output error függvény segítségével meghatározásra kerültek az átviteli függvény közelítései. A kapott közelítő függvényeket összehasonlítva a rendszer mért válaszával kielégítő pontosságot kapunk, ezt mutatja a 13. ábra.



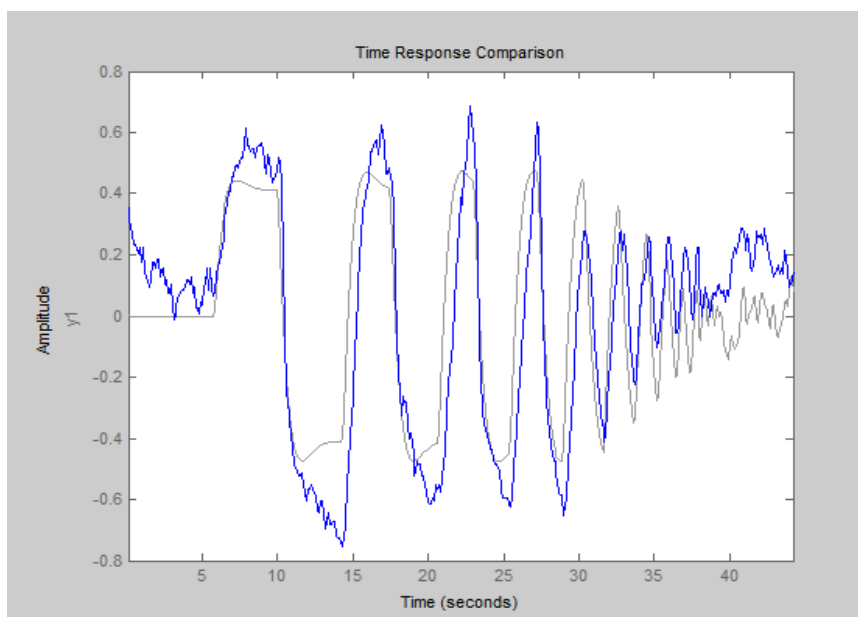
13. ábra A harmadik mérés (szürke) és közelítő függvénye (kék)

Az közelítések pontossága az output error becslést követően rendre 78,14%, 69,93% és 60,17% volt. Az így megállapított függvények diszkrét idejű függvények voltak, ezek Tustin módszerrel átkonvertálásra kerültek folytonos idejű átviteli függvényekké. Az így kapott folytonos átviteli függvények összehasonlításra kerültek, Bode diagramjaikat egy közös koordináta-rendszerben a 14. ábra ábrázolja.



14. ábra A közelítő átviteli függvények Bode diagramjai [1]

Látható, hogy a három méréshez tartozó átviteli függvények Bode diagramjai között a 10 Hz alatti tartományban nem mutatkozik jelentős eltérés, ebben az intervallumban a maximális különbség sem éri el a 4 dB-t. A 10 Hz feletti tartományt a gyakorlatban nem hasznosítjuk, ugyanis ez azt jelenteni, hogy a hajtómű vezérlőkarjának pozícióját másodpercenként tízszer változtatnánk meg, ami egy hajtómű üzemeltetésekor nem fordul elő. Azonban a rendszert legjobban jellemző átviteli függvényének meghatározása egy igen körültekintő eljárást igényelt. Több különböző módon kerültek meghatározásra átviteli függvények, melyek a hajtómű működését szimulálták, ezek alapos vizsgálatával a biztonság felé tévedve a rendszert jellemző átviteli függvénynek a harmadik mérés során adódó közelítő függvény lett felvéve. Az átviteli függvény válaszreakciója meg lett vizsgálva az adott méréshez tartozó bemenetek esetén, a harmadik mérésnél az összehasonlítást a 15. ábra mutatja.



15. ábra A harmadik mérés és a végleges átviteli függvény kimenetének összehasonlítása

A sugárhajtóművet modellező átviteli függvény válaszreakciója és a mért kimenet közötti illeszkedések rendre 53,7%-ra, 58,19%-ra és 54,45%-ra adódtak. A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű diszkrét átviteli függvényét a következő képlet írja le:

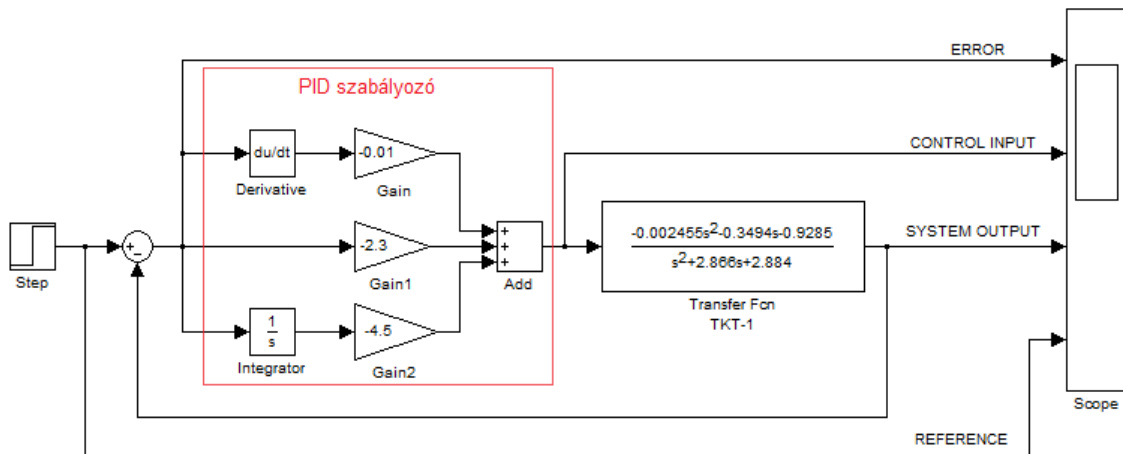
$$G(z) = \frac{-0,011934 \cdot z^2 + 0,0002328 \cdot z + 0,01103}{z^2 - 1,726 \cdot z + 0,7509} \quad (6)$$

A rendszer folytonos átviteli függvénye a Tustin módszerrel történő konverzió után:

$$G(s) = \frac{-0,002455 \cdot s^2 - 0,3494 \cdot s - 0,9285}{s^2 + 2,886 \cdot s + 2,884} \quad (7)$$

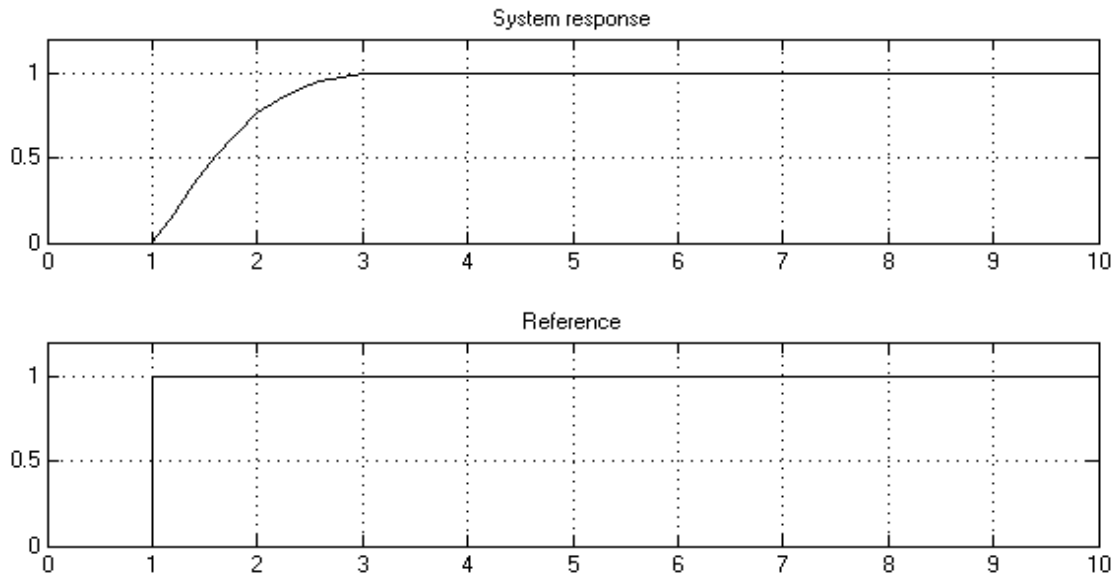
Ezzel tehát a TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű átviteli függvényének meghatározása megtörtént.

A következő lépés a rendszer elkészítéséhez a PID szabályozó megtervezése volt. A tervezés kivitelezése Simulink környezetében történt. A Simulink segítségével létrehozásra került a következő blokkvázlat, melyet a 16. ábra mutat be.



16. ábra A tervezett szabályozórendszer Simulink blokkvázlata [1]

Első közelítésben a PID szabályozó a Simulinkbe beépített automatikus tervező segítségével került meghatározásra, azonban a kapott szabályozó nem felelt meg a gázturbina által támasztott követelményeknek, mert jelentős túllendüléssel rendelkezett volna az így kapott szabályozó. A szabályozó beállási idejének csökkentéséhez és túllendülésének megszüntetéséhez az egyes alaptagok hangolása már a 16. ábra szerinti blokkvázlat alapján történt. A tervezett PID típusú szabályozó egy arányos, egy integráló és egy deriváló tag párhuzamos kapcsolásával került létrehozásra a hangolás megkönnyítése érdekében. A szabályozó elkészítésekor tekintettel kellett lenni arra, hogy a kivezérelt jelnek (az ábra jelölése szerint CONTROL INPUT) korlátosnak kell lennie, ugyanis a beavatkozáskor nem vezérelhető ki tetszőleges feszültségérték. A tervezett PID szabályozó nem rendelkezik túllendüléssel, beállási ideje 1.61 másodperc. A kimenet változását az idő függvényében a 17. ábra mutatja.



17. ábra A szabályozó kimenetének változása (fent) a bemenet (lent) függvényében [1]

A 8. ábra által mutatott szabályozás megvalósításához tehát rendelkezésre áll a referencia TPR, az átviteli függvény és a PID szabályozó is. A hajtómű vezérlése az alábbi folyamat eredményeképpen jön létre:

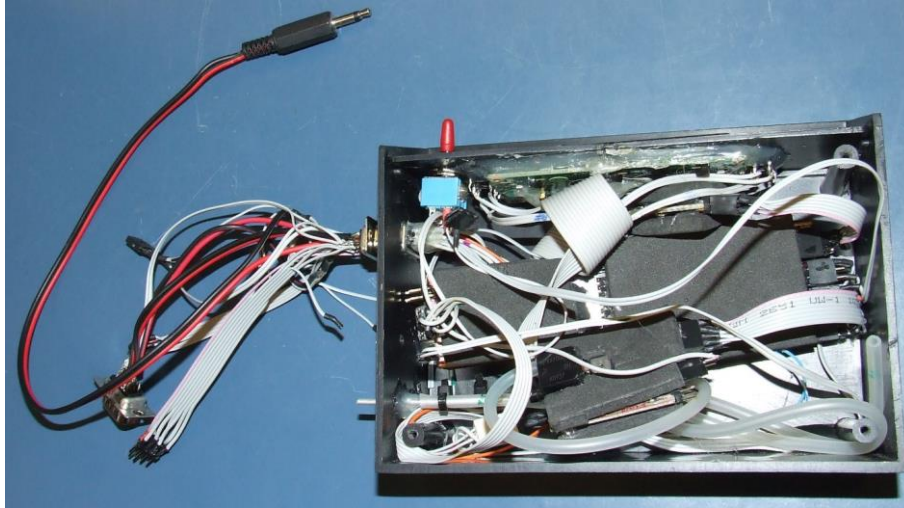
- adott HVK és GVK pozíciók esetén meghatározásra kerül a TPR referenciaértéke
- a mérőrendszer által mért adatokból meghatározásra kerül a TPR aktuális értéke
- az aktuális és a referencia TPR különbségéből adódik a differencia TPR értéke
- a PID szabályozó a differencia TPR-nak megfelelő szelepfeszültség jelet generál
- a szelepfeszültség változása miatt módosul a betáplált tüzelőanyag mennyisége
- a tüzelőanyag mennyiségének változására módosul a hajtómű üzemállapota
- az üzemállapot változása a TPR aktuális értékének változását okozza

A szabályozó a fenti ciklus ismétlésével valósítja meg a hajtómű vezérlését.

ÖSSZEZÉS

A tervezett ECU V3.2 (18. ábra) FADEC rendszerű szabályozórendszer hardveres és szoftveres szempontból is készen áll a tesztelésre. Ennek során szükséges lesz megvizsgálni, hogy a szabályozó képes-e tartani a beállított referenciaértéket minden egyes üzemmód esetén, továbbá vizsgálni kell majd a beállási időt is, különös tekintettel arra, hogy a hajtómű előrelátható viselkedése az alacsony és a magas fordulatszámokon valószínűleg különbözni fog az eddigi tapasztalatok alapján a tüzelőanyag-rendszer kialakítása miatt. A dinamikus viselkedést mind a HVK, mind a GSF változtatásával meg kell vizsgálni, így teljes képet kaphatunk a kereszt regressziós jellegfelület által meghatározott referencia pontosságáról, illetve arról, hogy a szabályozás túllendülés nélkül megy végbe. A mérések során tapasztalható volt, hogy a GSF zárásakor a hirtelen és azonnali p_4^* változás miatt az EPR érzékenyen reagál, míg a TPR esetében a változás csekély, ugyanis a gázhő csak kismértékben nő meg és a hőmérsékletviszonynak is csak a gyöke szerepel a TPR összefüggésében (4. egyenlet), illetve a centrifugális kompresszor

karakterisztikájából adódóan a létrejövő nyomásviszony-változás is csekély mértékű. Elmondható tehát, hogy a TPR alapú szabályozásnál a HVK változására lesz érzékenyebb a rendszer, ellentétben az EPR-ral, ahol a GSF-re érzékenyebb. A statikus és a dinamikus viselkedés vizsgálata után szükséges vizsgálni, hogy a TPR alapon működő FADEC rendszer milyen mértékben lesz képes a tolóerő konstans étéken való megtartására, ugyanis a szabályozórendszernek ez az egyik legfontosabb minőségi tulajdonsága. A teljes körű vizsgálathoz hozzátartozik, hogy össze kell hasonlítani az EPR szerinti szabályozással, hogy pontos képet lehessen alkotni a tolóerő állandóságának mértékéről.



18. ábra Az ECU V3.2 belső kialakítása

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] LEPOSA Norbert Krisztián TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű szabályozása TPR alapján, Szakdolgozat, BME Vasúti járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2013.
- [2] VK-1A sugárhajtómű műszaki leírása: re/183. Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1960.
- [3] JACKSON, Paul Jane's all the world's aircraft, 2010-2011. Jane's Information Group, Couldson, 2010.
- [4] CFM56-7B Engine systems, CFMI, 2000.
- [5] dr. SÁNTA Imre Repülőgép hajtóművek elmélete II. Előadásvázlat, BME, Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2010.
- [6] Arthur L. ROWE, Nikolaus KURZ Control System for a Ducted Fan Gas Turbine Engine, United Kingdom, 1997. október 30.
- [7] HORVÁTH Ádám Teljes hatáskörű digitális elektronikus szabályozórendszer tervezése kisméretű sugárhajtóműhöz. Diplomaterv, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2013.
- [8] BENEDA Károly Tamás Épülő gázturbinás sugárhajtómű üzemi jellemzőinek vizsgálata matematikai modell segítségével, Diplomaterv, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2006.
- [9] A TKT-1 kísérleti gázturbinás sugárhajtómű üzemeltetési kézikönyve. BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2013.

Vonnák Iván Péter¹

A MINŐSÉG ÉS A REPÜLÉSBIZTONSÁG ÖSSZEFÜGGÉSEI²

Ebben a cikkben a szerző bemutatja a repülőgépgyártás, üzemeltetés, javítás, karbantartás általános, valamint a minőségirányítás alapelveit és szemlélteti az eddig nem tárgyalt, nem tisztázott, de a két terület között meglévő nyilvánvaló hasonlóságokat és összefüggéseket. A cikk feltárja, hogy az ISO szabvány követelményei nem csak a minőségirányításhoz köthető, mivel az ISO-ban használatos meghatározások – régebben, bár más megfogalmazásban – ugyancsak megtalálhatók a repülőgépek gyártási folyamataiban, üzemeltetésében, javításában és az üzemeltetési stratégiák fejlesztésében. Következésképpen kimondhatjuk, hogy az ISO szabvány követelményei léteztek, és a repülésben használták is őket jóval korábban, már az ISO megszületése előtt is. Közismert az, hogy a repülésben a fő cél a repülés biztonsága magas színvonalának biztosítása, másrészt a költségek optimális szinten való tartása, valamint a vásárlói igények kielégítése. Amennyiben elfogadjuk e tézist, akkor azt is beláthatjuk, hogy a repülés biztonsága nem más, mint a repülés minőségbiztosítása.

CORRELATIONS OF QUALITY AND SAFETY OF FLYING

In this article, the author describes both the general and the aeroplane manufacturing, repairing operation and maintenance specialized principles of quality management, in order to demonstrate the obvious, but so far undiscovered similarities and correlations between the two approaches. The article gonna be reveal, that the requirements of ISO standards are not solely linked to quality management, as definitions used in ISO - sometimes with different wording -, are also available within the requirements of aeroplane manufacturing and operating, repairing and they have undisputed role in the development of operating strategies. Therefore we can say, that the requirements of ISO standards had been already used in the world of aviation before the creation of ISO. It's well known, that the main target of flight operation is to reach extraordinary flight safety, while on the other hand to maintain the cost base optimized in order to reach buyer satisfaction. In case we accept this thesis, it should be admitted, that the safety of flying is also the quality assurance of flying, so it is quality engineering.

A MINŐSÉGIRÁNYÍTÁS ALAPELVEI A REPÜLÉSBIZTONSÁG TÜKRÉBEN

1. A minőség fogalma

„A minőség annak mértéke, hogy mennyire teljesíti a saját jellemzők egy csoportja a követelményeket, ahol a követelmény kinyilvánított igény vagy elvárás, amely általában magától értetődő vagy kötelező.” (ISO 9000:2000)

„A minőség az egység azon jellemzőinek összessége, amelyek befolyásolják képességét, hogy meghatározott és elvárt igényeket elégítsen ki” (MSZ EN ISO 8402:1994)

Más megközelítésben: [1]³

¹ PhD, ny. alezredes, vonivpeter@gmail.com

² Lektorálta: Dr. Békési László főiskolai tanár, Nemzeti Köszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

³Dr Jarjabka Ákos Minőségügyi és minőségbiztosítási alapismeretek 7-8. oldal



„... alapvető üzleti stratégia, amely alapján születet termékek és szolgáltatások teljességgel kielégítik mind belső, mind a külső vevőket azzal, hogy megfelelnek kimondott és kimondatlan elvárásaiknak.” **(Tener De Toro)**

„... vevő szükségleteinek kielégítése, a vásárlói elégedettség.” **(Deming)**

„... az igényeknek való megfelelést, a vevő kívánalmaihoz való alkalmazkodást, és nem az eleganciát jelenti.” **(Crosby)**

„... a felhasználásra való alkalmasság, használhatóság.” **(Juran)**

2. A repülésbiztonság fogalma

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, amelyet 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 feladatot. Ezt a tulajdonságot egyébként gyakran a repülőgépre „**BETERVEZETT REPÜLÉSBIZTONSÁGNAK**” is nevezik. [2]⁴

A repülés nyelvére lefordítva ez az jelenti, hogy a repülőeszköz életciklusa folyamán a tervezéskor, gyártáskor kapott képességeit – a repülés biztonságának elvárt, magas szintje mellett – a megfelelő beavatkozások (Pl: javítás, üzemeltetés... stb) következtében végig megőrzi. Ebből látható, hogy **kulcskérdés a REPÜLÉS BIZTONSÁGA**, hisz a kiváló tulajdonságokkal bíró repülőeszköz feladatait csak ép, üzemképes állapotában képes teljesíteni. Ebből pedig az következik, hogy a repülés elsődleges minőségmutatója a **REPÜLÉS BIZTONSÁGA!**

A repülés biztonság szintjének folyamatos növelése érdekében a „repülési lánc”⁵ minden résztvevője óriási erőfeszítéseket tett és tesz, hisz közismert, hogy a „repülés szabályait vérrel írták”!

3. A legalapvetőbb, legmeghatározóbb szabályok, amelyek biztosítják a minőséget, azaz a repülés biztonság megfelelő szintjét

- A gyártási, javítási és kiszolgálási folyamatok meghatározottsága: ez a repülőiparban és általában a repülésben azt jelenti, hogy a tervezéstől a kiselejtezésig a repülőeszközökön végzendő minden tevékenység technológizálva van, amely leírásától a gyakorlatban az adott szinten eltérni csak a megfelelő magasabb szint írásbeli, pontosan technológizált engedélyével, utasítása alapján lehetséges. Ez általában a gyártó vagy a javítóvállalatok jogkörébe tartozik.
- A folyamatos ellenőrzés és követhetőség biztosítása: Ahogy az előző pontban írtam a repülőeszköz életciklusának minden szakaszára technológizált ellenőrzéseket ír-

⁴ Dr Rohács József; Simon István Repülőgépek és Helikopterek üzemeltetési zsebkönyve Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1989 (ISBN:963 10 7147) 90-91. oldal

⁵ „Repülési lánc”: Tervezés; gyártás; fejlesztés; ipari és nagyjavítás; üzemeltetés; légi üzemeltetés; üzembentartás.

nak elő a gyártók, amelyekben az elvégzendő ellenőrzések, mérések mellett az ellenőrzéseket végzők jogállását, ellenőrzési jogosultságukat, alá és fölérendeltségüket is meghatározzák. Szigorúan előírt dokumentációkon keresztül a végrehajtott ellenőrzéseket a repülőeszköz életciklusának befejezése után is személyekre visszamenőlegesen vissza lehet keresni.

- A gyártás és üzemeltetés minden fázisának lekövethetősége, átláthatósága: Azon felül, hogy a gyártási folyamatok, munkálatok és ellenőrzések technológizáltak, az összes munkafolyamat technológiai munkalapokon megtalálhatók, ahol a legrészletesebben kifejtik a különböző elvégzendő tevékenységeket. Így később is ismert, hogy kik végezték a munkát, javítást, alkatrészcserét, kik ellenőrizték, visszaellenőrizték, kik biztosították az alkatrészeket és mikor... stb.
- A folyamatos fejlesztés és készenlét a megfelelő beavatkozásra, módosításra: A hiányosságok, hibák vagy az üzemeltetési tapasztalatokon alapuló szükséges változtatásokat haladéktalanul be kell vezetni, a technológiákat ezeknek megfelelően módosítani szükséges és erre az apparátusnak folyamatosan késznek és képesnek kell lennie.
- Minden folyamat, ellenőrzés, beavatkozás pontos dokumentálása: Már említettem, de hangsúlyozottan meg kell ismételnem, hogy az ellenőrzések, azok technológiájának módosítása, bármilyen egyéb beavatkozás írásban történő rögzítése, visszakereshetősége elengedhetetlen feltétele a repülőeszközök biztonságos üzemeltetésének.
- A vevői (üzemeltetők) igények elemzése gyors kielégítése: A gyártók és üzemeltetők közötti folyamatos adat és információ-csere minősége meghatározó az adott repülőeszköz piacképessége szempontjából is, de jelentős hatása van a repülésbiztonság szempontjából is. Az üzemeltetői tapasztalatok folyamatos elemzése, a szükséges fejlesztések, változtatások bevezetésének kulcskérdése, de az üzembentartási stratégiák megválasztásának és az aktuális üzemidők módosításának, hosszabbításoknak is az alapját képezi.
- Beszállítók folyamatos ellenőrzése, minősítése: Tekintettel arra, hogy a repülőeszköz minőségéért a repülőeszköz gyártója és nagyjavítója visel egyetemleges felelősséget, ezért a beszállítók folyamatos ellenőrzése, minősítése a repülésbiztonság döntő elemévé vált, amit a gyártók (javítók) nem ruházhatnak át másra.
- A „repülési lánc” minden eleménél fontos szerepet tölt be a kockázatelemzés (pl: FMEA [4]⁶), összehasonlító elemzés (Benchmarking [4]⁷), a folyamatos javítás módszere (Kaizen [4]⁸) stb.

Az utolsó pontban említett minőségirányítási technikákat – bár nem ilyen megnevezésekkel – már a repülés „őskorában” is alkalmazták, hisz az adott berendezések, rendszerek meghibásodásai kockázatának ismerete nélkül se üzemeltetési korlátokat, se üzemidőket, se üzemeltetési

⁶ **FMEA Failure mode and effect analysis** (Hibamód és hatáselemzés)

⁷ **Benchmarking:** Folyamatos tevékenység, amelynek során összehasonlítjuk a vevők elvárásait a saját és versenytársak teljesítményével. (MINŐSÉGET GAZDASÁGOSAN Parányi György ISBN 9631630331 486.oldal)

⁸ **Kaizen:** A javításnál a folyamatos lépésekkel való előrehaladás a jellemző, a javításban résztvevők tudásának és képességének felhasználásával. Átfogja a termelékenységet, minőségellenőrzést, költségcsökkentést, selejtmélességet, stb (MINŐSÉGET GAZDASÁGOSAN Parányi György ISBN 9631630331 512.oldal)



stratégiákat nem lehet gazdaságosan és a repülés biztonságát is garantáló módon meghatározni. Az előző felsorolással azt szerettem volna bemutatni, hogy a mai minőségbiztosítási és irányítási elvek nem az ISO szabványok keretében születtek, sőt állítom, hogy az ISO „bölcsoje” a repülőgépgyártás és a különböző repülőeszközök üzemeltetése volt.

Ennek további szemléltetésére bemutatom az **ISO szabvány** nyolc alapelvét [3]:

I. Üzemeltetés központúság (Vevőközpontúság):

- a gyártók a repülőeszközöket üzemeltető cégektől függenek;
- folyamatosan figyelniük kell az üzembentartók, üzemeltetők igényeit és ki is kell azokat elégíteniük;
- Igyekezni kell az üzembentartók, üzemeltetők elvárásait túlteljesíteni, azaz a kimondatlan elvárásoknak is meg kell tudni felelni.

I. Vezetés:

- törekedni kell a gyártó, javító, üzemeltető és üzembentartó szervezetek céljainak, igazgatási struktúrájának egységéről (Hogy egy nyelven beszéljenek);
- a munka-léggörnek biztosítania kell a munkatársak teljes odaadását. (A dolgozók elkötelezettsége, lojalitása, fegyelme a repülésbiztonságot meghatározó „humán” elem.)

II. Munkatársak bevonása:

- a gyártó, javító, üzemeltető, üzembentartó szervezetek lényege az ember;
- csak az emberek termelési, javítási, stb folyamataiba történő teljes bevonása szolgálja képességeik optimális kihasználását. (A dolgozóknak „sajátjuknak” kell érezniük a szervezet előtt álló feladatok megoldását.)

III. A feladatok folyamatszempléletű megközelítése:

- A repülés biztonsága és az elvárt repülési feladatok maradéktalan végrehajtása megköveteli az összes tevékenység folyamatszintű szabályozását és annak pontos és világos leírását.

IV. Az irányításnak rendszerszemléletűnek kell lennie:

- A működés hatékonysága és a magas szintű repülésbiztonság megköveteli, hogy a tevékenységek folyamatait átlátható, egymáshoz kapcsolódó rendszerbe is foglaljuk.

V. Folyamatos fejlesztés:

- a gyártó, javító, üzemeltető és üzembentartó szervezetek a céljaik eléréséért folyamatosan kell, hogy fejlesszék a tevékenységi folyamataikat, azok rendszerét és e területen szerzett tapasztalataikat folyamatosan egymás között ki is kell cserélniük.

VI. Megalapozott, tényeken alapuló döntéshozatal:

- minden szinten az adatok folyamatos gyűjtése és feldolgozása, elemzése biztosíthatja csak a repülésbiztonság (minőség) magas szintjét és a megfelelő fejlődést.

VII. Kölcsönös és folyamatos kapcsolat a „szintek” között és a beszállítókkal:

- A repülési szervezetek láncolatában a kölcsönös kapcsolat, függés egyben a fejlődés motorja is lehet;



-
- A kölcsönös előnyökön alapuló kapcsolatrendszer a probléma-megoldó képességeket is közös szintre hozza.

A fentiekből világosan lehet látni, hogy a minőségirányítás, a minőség menedzsment ma elfogadott alapelvei, valamint a „minőség-technikák” lényegüket tekintve a repülésben már régen alkalmazzák, nélkülözhetetlenné vált. A repülés szakemberei csak örülhetnek annak, hogy az általuk már rutinszerűen alkalmazott rendszer, ami a repülésbiztonság meghatározó eleme, a gazdaság egyéb résztvevői számára is a minőség zálogát jelenti.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] [1] DR JARJABKA ÁKOS Minőségügyi és minőségbiztosítási alapismeretek
http://bmvk.hu/downloads/online_tudastar/minosegbiztositas.pdf (2014. március 01.)
- [2] [2] DR ROHÁCS JÓZSEF; SIMON ISTVÁN Repülőgépek és Helikopterek üzemeltetési zsebkönyve Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1989 (ISBN:963 10 7147)
- [3] [3] MSZ EN ISO 9001- 2009
- [4] [4] PARÁNYI GYÖRGY Minőséget Gazdaságosan ISBN 9631630331

SZÉLSŐÉRTÉK VIZSGÁLATOK HAZAI SZINOPTIKUS MÉRŐÁLLOMÁSOK HOMOGENIZÁLT SZÉLADATSORAI ALAPJÁN⁵

Napjaink modern társadalmában egyre nagyobb az igény a széklíma átlagos és szélső értékeinek ismeretére. A széklímatológiai elemzések eredményei beépíthetők a repülésmeteorológia területén is a hosszú távú tervezésekhez, illetve a napi meteorológiai támogatási feladatok végzése során. E célok elérése érdekében az Országos Meteorológiai Szolgálat által fejlesztett, MASH v3.03 [4][5] programcsomag segítségével homogenizáltuk a hazai szinoptikus mérőhálózat szélesség adatait (1975–2012). Elvégeztük az egyes szélmezőkből meghatározott paraméterek, szélsőértékek elemzését, térbeli és időbeli tendenciáinak összehasonlítását. Kiszámítottuk a különböző, nemzetközileg ismert hőmérséklet és csapadék indexek (pl.: [1][2]) analógiájára az általunk definiált szélindexeket. Ezek elemzésével arra a kérdésre kerestük a választ, hogy gyakoribbá váltak-e a nagy szélességű viharos napok, illetve hogyan változott a szennyezőanyagok feldúsulását a nagyvárosokban elősegítő, valamint a látástávolságot is nagyban befolyásoló egymást követő alacsony szélességű napok száma.

WIND EXTREMES AND INDICES IN HUNGARY BASED ON HOMOGENIZED DATA SERIES

Modern aviation meteorology as well as other applied meteorology necessitates the detailed analysis of wind climate parameters, extremes and trends using homogenized observed wind data for long-range planning and daily meteorological support. The Multiple Analysis of Series for Homogenization, MASH v3.03 [4][5] developed at the Hungarian Meteorological Service was used for homogenization of available daily wind speed time series between 1975 and 2012 for measurement records of Hungarian synoptic stations. Mean and extreme values of wind fields, as well as their spatial distribution and the detected trends were analysed. Similarly to the widely used temperature and precipitation climate indices (e.g., [1] and [2]), wind related climate indices were defined. Analysis of these indices could answer whether the frequencies of windy, gusty days and calm periods have increased or decreased in the recent past. This is especially important from the urban point of view where air pollution is a major environmental issue leading to many health problems.

BEVEZETÉS

Az éghajlati rendszer jelen állapotának, jellemzőinek megismerése kiemelt fontosságú egyrészt a klímaváltozás globális és regionális hatásainak, következményeinek becslése, valamint a jövőre vonatkozó helyes következtetések megalkotása szempontjából. Másrészt a XXI. század modern társadalmában elengedhetetlen a közelmúlt éghajlati jellemzőit megismerni az alkalmazott meteorológiai tudományok a területén is. Például a repülésmeteorológiában a hosszú távú tervezésekhez, illetve a napi meteorológiai támogatási feladatok elvégzéséhez is szükség van megbízható éghajlati adatbázis alapján számított statisztikák ismeretére az élet és az anyagi

¹ őrnagy, meteorológus főtitiszt, MH Geoinformációs Szolgálat, peline.csilla@gmail.com

² tanszékvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, bartholy@caesar.elte.hu

³ egyetemi adjunktus, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, prita@caesar.elte.hu

⁴ elnök, Országos Meteorológiai Szolgálat, radics.k@met.hu

⁵ Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

javak védelme érdekében. A repülésmeteorológiában különösen a repülésre veszélyes időjárási elemek (pl.: szél) jellemzőit elemezzük éghajlati hosszúságú, minőségi és homogenitás ellenőrzésen átesett adatsorok statisztikai módszereken alapuló vizsgálataival, illetve modellezéssel. Szélklimatológiai kutatásaink során az egyes paraméterek átlagos értékeinek elmozdulása mellett kiemelt figyelmet fordítottunk a szélsőségek részletes elemzéseire, hiszen a szélklíma jelenlegi állapotának megismerése elengedhetetlen a különböző időskálájú jövőre vonatkozó helyes következtetések megalkotásához.

A fenti célok elérése érdekében homogenizáltuk a rendelkezésre álló hazai szinoptikus mérőhálózat szélesség adatait (1975–2012), mellyel az adatsorokból számított paraméterek becslése megbízhatóbbá vált. A cikkben bemutatjuk a homogenizált szélmezőkből meghatározott paraméterek, szélsőértékek és az általunk definiált szélindexek térbeli és időbeli tendenciáit.

MÉRÉSI ADATOK HOMOGENIZÁLÁSA

SZINOPTIKUS MÉRŐHÁLÓZAT ADATAI, INHOMOGENITÁSOK OKAI

Vizsgálatainkhoz 36 hazai szinoptikus mérőállomás órás, egészre kerekített (m/s-ban) szélesség adatsorát (1975–2012) használtuk fel. Elvégeztük a rendelkezésre álló adatok minőségi és mennyiségi ellenőrzését. Az adatsor tartalmi ellenőrzése során a legnagyobb átlagos és maximális szélességi értékek meteorológiai megalapozottságát minden esetben megvizsgáltuk, szükség esetén javítottuk. Nagy figyelmet fordítottunk az állomások metaadataira. Az időszak folyamán több állomást más helyszínre költöztettek, illetve esetenként új állomásokat is telepítettek. A közvetlen és távoli környezet és a mérési magasság időközbeni megváltozása nehezítette a homogén adatbázis létrehozását.

A meteorológiai világszervezet (World Meteorological Organisation) által elvárt automatizált mérőrendszerek telepítése Magyarországon az 1990-es évek során megtörtént. Míg az automatizálás előtti időszakban a Fuess rendszerű szélmérők voltak az általánosan elterjedt műszerek, az automatizálás óta az Országos Meteorológiai Szolgálat mérőhálózatában a mérések a finn Vaisala szenzorokkal történnek rendszeres kalibrálás, ellenőrzés és karbantartás mellett. Az automatizálás nem csupán a mérési eljárások, a mérőműszerek, de sok esetben az észlelési magasságok változását is jelentette. További gondot okozott, hogy a szélmérők automatizálás előtti időszakra vonatkozó mérési magasságai nem minden esetben kerültek rögzítésre.

Nyilvánvaló, hogy az állomáshálózat felépítése, az állomások megszűnése és költözése, a mérés technika fejlődése is nagymértékben befolyásolja az idősorok homogenitását. A fent ismertetett, az idősorok homogenitását negatívan befolyásoló tényezők következtében az adatsorok teljes időszakra vonatkozó egységes vizsgálata – a fellépő inhomogenitások miatt – nem volt lehetséges. A korábbi években ezért kizárólag az automatizálást követő időszak elemzését végeztük el, és vetettük össze más adatforrásokból (pl.: reanalízis) számított statisztikákkal [6] annak megállapítása érdekében, hogy a klímamodellek bemenő adataként alkalmazott reanalízis mezők klimatikus jellemzői mennyire esnek egybe a mért adatokból levezetett tulajdonságokkal. Annak érdekében, hogy a rendelkezésünkre álló adatsort együttesen, a teljes időszakra vizsgálhassuk, szükségessé vált annak homogenizálása.

AZ ADATSOROK HOMOGENIZÁLÁSA

Egy klimatológiai hosszúságú idősor homogénnek tekinthető, amennyiben változékonysága kizárólag az időjárás és az éghajlat változékonyságából adódik [3]. Ennek eldöntésére számos módszer terjedt el, melyek matematikai és klimatológiai ismereteken alapulnak.

Az általunk futtatott MASH alkalmazás egy relatív homogenizációs teszt eljárás [4]. A módszer a matematikai alapokon nyugszik, lehetőséget ad az állomások metaadatainak felhasználására, pl.: az állomások költözésének időpontjának megadására, az idősorok elemzése, a töréspontok keresése során. Az általunk vizsgált idősor homogenizálásához nem használtuk fel a metaadatokat. A MASH automatizált alkalmazás alapelve, hogy nem feltételezi a referencia idősor homogenitását. A vizsgált és a referencia idősorok szerepe a futás során változik, felcserélődik. A vizsgált meteorológiai elem tulajdonságaitól függően alkalmazunk additív (például: hőmérséklet), valamint multiplikatív (például: csapadék vagy szélsébség) modellt.

Havi, évszakos, éves adatsorok homogenizálása egyaránt lehetséges, a napi idősorok inhomogenitását a haviakból számolja a program. A szoftver automatikusan megadja a valószínűsíthető töréspontok dátumát, illetve a homogenizált idősort, melyben az adathiányok homogén adatokkal vannak pótolva és ellenőrzöttek.

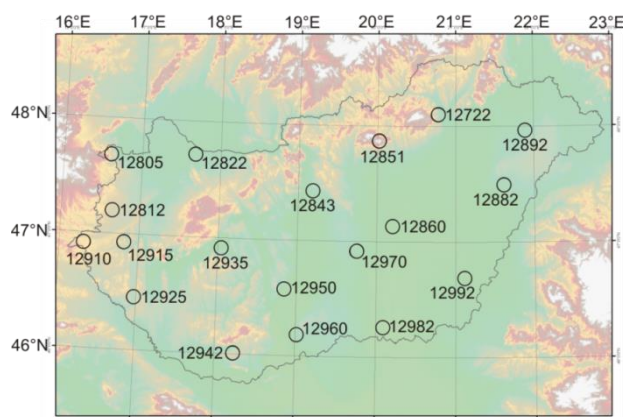
A 1. ábra mutatja azt a 19 szinoptikus állomást, melyek napi szélsébség idősorát homogenizáltuk. A napi szélsébségeket minden esetben legalább nyolc darab óras adatból számítottuk ki. Az állomások ismert metaadatait az 1. táblázat foglalja össze.

A homogenizálásra kiválasztott állomások többségéről 1975. január 1-jétől 2012. december 31-ig áll rendelkezésre szélsébség mérési adat. Kivételt képez ez alól Paks, ahol a mérés 1979. május 1-jén indult meg. Továbbá Zalaegerszeg, ahol több mint egy évnnyi adatmennyiség hiányzik 1993-1994. években, valamint 50 nap adathiány mutatkozik Kecskeméten 2009-ben.

A 19 állomás 38 éves napi szélsébség idősorának homogenizációjához multiplikatív modellt alkalmaztunk 0,95 szignifikancia szinttel. Az eredeti idősor multiplikatív modell esetében az alábbiak szerint írható fel [5]:

$$X_{o,j}^*(t) = C_j^*(t) \cdot IH_j^*(t) \cdot \varepsilon_j^*(t), \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

C^* : klímaváltozás, IH^* : inhomogenitás, ε^* : zaj



1. ábra Homogenizáláshoz felhasznált hazai szinoptikus állomások



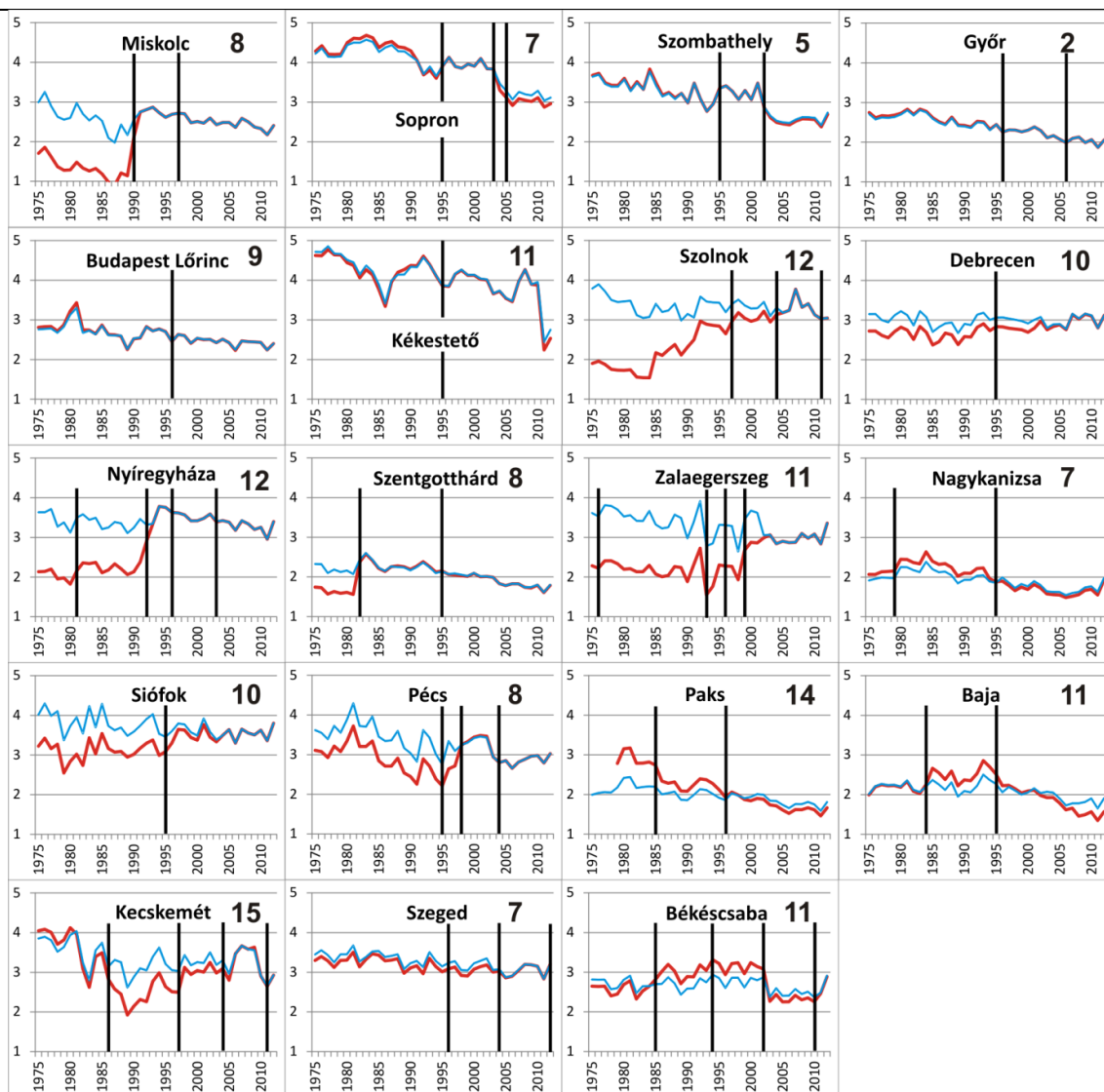
Sor-szám	WMO	Állomás	Szélesség	Hosszúság	Magasság [m]	Mérőműszer magassága [m]	Adathiány [%]
1	12772	Miskolc	20,77	48,10	232,8	16,25	0
2	12805	Sopron	16,60	47,68	233,8	18,40	< 0,1
3	12812	Szombathely	16,65	47,20	201,1	10,56	< 0,1
4	12822	Győr	17,67	47,71	116,7	11,16	0
5	12843	Budapest	19,18	47,43	139,1	14,68	< 0,1
6	12851	Kékestető	20,02	47,87	1011,3	25,07	< 0,1
7	12860	Szolnok	18,93	46,17	108,1	10,40	< 0,1
8	12882	Debrecen	21,61	47,49	107,6	10,23	0,1
9	12892	Nyíregyháza	21,89	47,96	142,1	15,98	0,2
10	12910	Szentgotthárd	16,31	46,91	311,7	16,61	0,1
11	12915	Zalaegerszeg	16,81	46,93	240,1	10,40	3,3
12	12925	Nagykanizsa	16,97	46,46	139,8	13,69	0,1
13	12935	Siófok	18,04	46,91	108,2	15,10	0
14	12942	Pécs	18,23	46,01	202,8	10,55	0
15	12950	Paks	18,85	46,57	97,2	9,80	11,4
16	12960	Baja	19,02	46,18	113,0	10,30	0,1
17	12970	Kecskemét	19,75	46,91	114,0	10,40	0,4
18	12982	Szeged	20,09	46,26	81,8	12,25	< 0,1
19	12992	Békéscsaba	21,11	46,68	86,2	6,50	< 0,1

1. táblázat Homogenizáláshoz felhasznált hazai szinoptikus állomások rögzített metaadatai (2012-es állapot)

Az eredeti és a homogenizált átlagos éves szélességek időbeli változását ábrázoltuk a 2. ábrán minden vizsgált állomásra. A szoftver által detektált töréspontok számát az egyes diagrammok jobb felső sarkába írtuk. A metaadatok többsége beazonosítható a töréspontok között, ugyanakkor a nem éghajlati eredetű eltérésekre (töréspontok száma) nem következtethetünk a dokumentált töréspontok számából. Több idősor az időszak elején lett módosítva (például: Miskolc, Szolnok, Siófok), melyet az állomás költözése okozott általában. Az automatizálás folyamán a mérési módszer és mérőeszköz változása mellett általában a szélesség mérési magassága is megváltozott (például Miskolcon 10 méterről 16,25 méterre 1997-ben). Szolnokon az automatizálást követően (1997) a mérőeszköz típusa 2004-ben és 2011-ben is megváltozott.

Néhány állomás (például Szombathely és Sopron) adatai csak az időszak végén módosultak, az automatizálást, illetve a költözést követően.

A feljegyzett metaadatok is hasznosak lehetnek a homogenizáció validációjában. Az általunk homogenizált idősorban a legtöbb állomáson adathiányok léptek fel az 1980-as években, főleg éjszaka, ennek eredményeképpen a napi szélességek kevesebb adatból, de legalább nyolc érték átlagából lettek meghatározva, ezáltal ebben az időszakban több a töréspont az idősorban. Nyilvánvaló, hogy az automatizálás folyamata törést okozott az idősorokban 1994 és 1997 között. Ez az eredmény igazolja korábbi döntésünket, miszerint a rendelkezésünkre álló idősort két részre bontva vizsgáltuk (1975–1994 és 1997–2012). Továbbá az állomások költözése, a szélmérők mérési magasságának változása szintén töréspontokat indukált az idősorokban, mellyel az ezredforduló utáni évek töréspontjai magyarázhatóak. Ezekben az esetekben a módosítás mértékét megfigyelve, az okozott inhomogenitás gyakran nagyobb, mint az automatizálás hatása. Éppen ezért a mérőrendszerek tervezésénél és telepítésénél számolni kell a homogenitást negatívan befolyásoló tényezőkkel is. Ezen túlmenően, az archivált adatok későbbi éghajlati vagy egyéb célú feldolgozásához nagyon fontos az állomás metaadatainak precíz vezetése.



2. ábra Éves átlagos szélesség [m/s] a vizsgált állomásokon homogenizálás előtt (piros) és utána (kék). A függőleges vonalak azokat az éveket jelzik, ahol metaadat volt rögzítve a nemzeti adatbázisban 1975 és 2012 között. Az ábrák jobb felső sarkába írt számok a MASH szoftver által detektált töréspontok száma

SZÉLINDEXEK

Az éghajlati kutatásokban széleskörű a különböző indexek alkalmazása a szélségvizsgálatok során. A hőmérséklet és csapadék indexek analógiájára szélindexeket definiáltunk az extrém szélviszonyok tendenciáinak elemzése céljából.



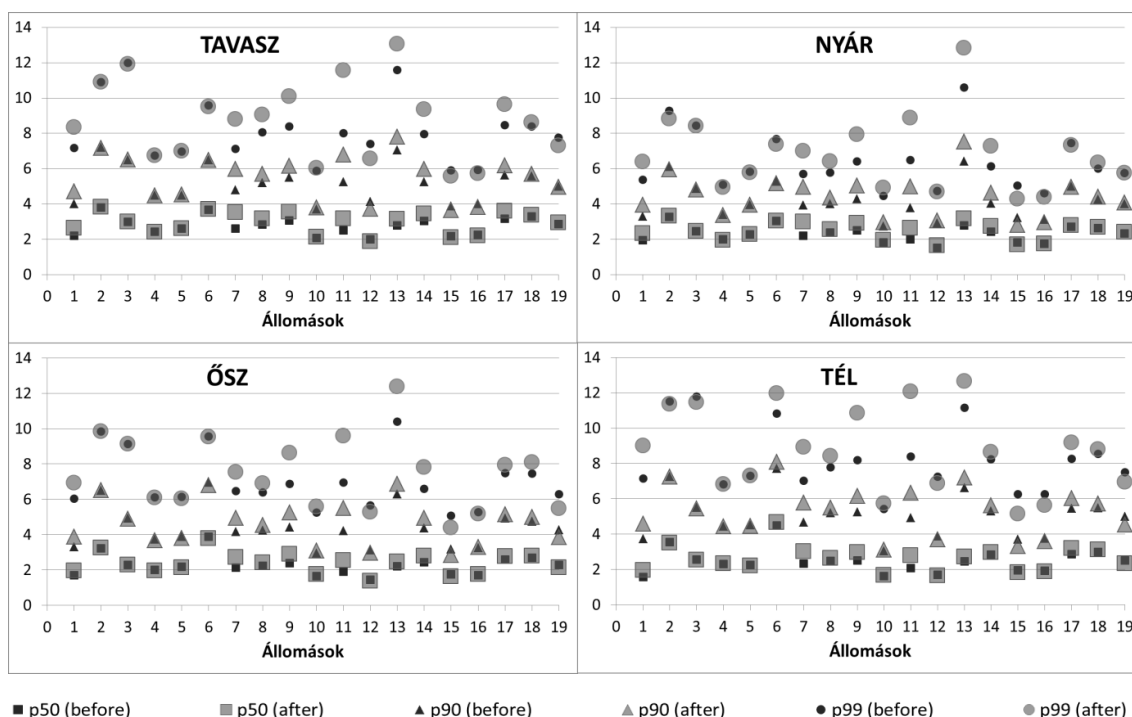
Sorszám	Jelölés	Az extrém szélindex definíciója	Egység
1	wavgGT15	Viharos napok száma Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség meghaladja a 15 m/s-t; $v_{\text{átl}} > 15$ m/s	nap
2	wavgGT10	Erősen szeles napok száma Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség meghaladja a 10 m/s-t; $v_{\text{átl}} > 10$ m/s	nap
3	wavgGT8	Élénk szeles napok száma Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség meghaladja a 8 m/s-t; $v_{\text{átl}} > 8$ m/s	nap
4	wavgLT1	Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség nem éri el az 1 m/s-t; $v_{\text{átl}} < 1$ m/s	nap
5	wavgLT3	Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség nem éri el az 3 m/s-t; $v_{\text{átl}} < 3$ m/s	nap
6	wavgLT5	Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség nem éri el az 5 m/s-t; $v_{\text{átl}} < 5$ m/s	nap
7	Cw1D	Egymást követő 1 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
8	Cw3D	Egymást követő 3 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
9	Cw5D	Egymást követő 5 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
10	Cw8D	Egymást követő élénk szeles (8 m/s-nál nagyobb napi átlagos szélesebbességű) adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
11	Cw10D	Egymást követő erősen szeles (10 m/s-nál nagyobb napi átlagos szélesebbességű) adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
12	Cw15D	Egymást követő viharos (15 m/s-nál nagyobb napi átlagos szélesebbességű) adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
13	Cw1Dmax	Egymást követő 1 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} < 1$ m/s	nap
14	Cw3Dmax	Egymást követő 3 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} < 3$ m/s	nap
15	Cw5Dmax	Egymást követő 5 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} < 5$ m/s	nap
16	Cw8Dmax	Egymást követő élénk szeles napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} > 8$ m/s	nap
17	Cw10Dmax	Egymást követő erősen szeles napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} > 10$ m/s	nap
18	Cw15Dmax	Egymást követő viharos napok maximális éves/évszakos/havi hossza; $v_{\text{átl}} > 15$ m/s	nap

2. táblázat A vizsgálat során alkalmazott extrém szélindexek jelölése, definíciója, egysége

Percentilisek tendenciái

A rendelkezésünkre álló adatsor együttes vizsgálata az adatsorokban rejlő inhomogenitások miatt – a mérési adatsorok homogenizálását megelőzően – nem volt lehetséges. Ezért főként az állomáshálózat automatizálása után, 1997-től rögzített szélsősebesség értékek elemzését végeztük el és vetettük össze különböző, rácshálózatra interpolált, adathiányoktól mentes idősorokkal [6]. Célunk az egyes adatbázisok megbízhatóságának vizsgálata mellett a szélklimatológiai jellemzők tendenciáinak meghatározása volt. A szinoptikus állomáshálózat széladatainak együttes vizsgálatát a már klimatológiai léptékben is megfelelő hosszúságú, 1975–2012. időszakra az adatsorok homogenizálását követően szintén elvégeztük.

Munkánk során kiszámítottuk a homogenizált és a bemeneti napi szélsősebesség idősorok különböző percentiliseit (medián, 90%, 99%). A 3. ábra szemlélteti az eltérést, melyen látható, hogy Zalaegerszeg (11. állomás) idősorának percentilisei változtak meg a legnagyobb mértékben. Az éves homogenizált percentilis értékek a 131 (50%), 128 (90%) és 140 (99%) százalékkal növekedtek. A legnagyobb csökkenést Békéscsabán (19. állomás) tapasztaltuk (98%, 96% és 95%). A medián hat, a magasabb percentilisek nyolc-nyolc állomás csökkentek. A legkisebb eltérés a várakozásoknak megfelelően Szombathely (100,0%, 99,8% és 98,3%) és Kékestető (100,0%, 100,4% és 104,5%) állomások adataiban volt.

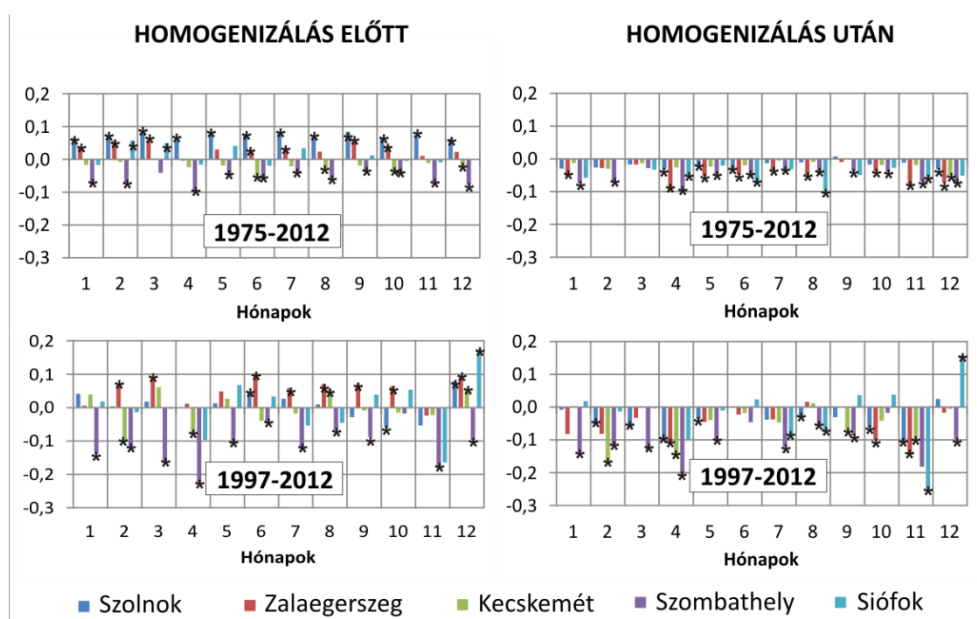


3. ábra. Különböző (50% – négyzet, 90% – háromszög, 99% – kör) évszakos percentilisek [m/s] értékei az eredeti (fekete jelek) és a homogenizált (szürke jelek) adatsorokból számítva a vizsgált 19 állomásra 1975–2012. között

A 4. ábra a 90%-os percentilis értékek lineáris trend együtthatóinak értékeit mutatja öt kiválasztott állomáson (Szolnok, Zalaegerszeg, Kecskemét, Szombathely és Siófok). Látható, hogy

az idősorokban rejlő inhomogenitások akár ellentétes irányú, hamis trendeket is eredményezhetnek. Az egyes évek havi percentilis értékeire illesztett lineáris egyenes meredekségét statisztikai próbával (t-próba) vizsgáltuk $p = 0,05$ -ös elfogadási szint mellett, a szignifikáns változásokat “*” karakterrel jelöltük.

A 4. ábra jobb felső részén csökkenő tendencia figyelhető meg a teljes időszak (1975–2012) homogenizált adatsorainak trendjeiben, a növekvő változások (Szolnok, Zalaegerszeg és Siófok) a homogenizálással jórészt eltűntek. Az automatizálás után (1997–2012) a detektált havi trendek előjele Szombathelyen változatlan maradt, Siófokon pedig májust kivéve nem módosult a homogenizálással, ellenben Szolnok, Zalaegerszeg és Kecskemét állomáson megfigyelhető növekedések többsége az adatsorok inhomogenitásai miatti hamis trendek voltak.



4. ábra. A 90%-os percentilis értékek lineáris trend együtthatói 1975–2012 (fent) és 1997–2012 (lent) időszakokra, Szolnok, Zalaegerszeg, Kecskemét, Szombathely és Siófok állomások idősoraiból számítva homogenizálás előtt (bal oldal) és után (jobb oldal). A szignifikáns változásokat “*” jelöli.

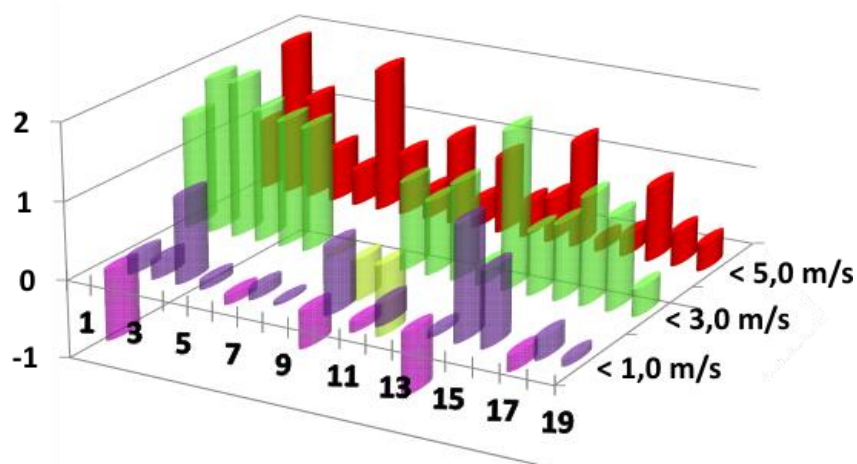
A homogenizáció verifikációs eredményeit, az inhomogenitás mérőszámainak – az éves relatív becsült inhomogenitás (REI) és az éves relatív idősor-módosítás (RMS) – viselkedését a [7] cikkünkben mutattuk be. A REI és az RMS, melyek arányosak a standard fluktuációval, Szombathelyen a minimum, Zalaegerszegen a maximum értéket vették fel (3. táblázat). Ezáltal nem meglepő, hogy az adatsorokból számított tendenciákat tekintve a legkisebb eltérést Szombathelyen, míg a legnagyobbat Zalaegerszegen figyelhetjük meg.

	REI	RMS
Zalaegerszeg	0,90	1,57
Szolnok	0,90	1,30
Kecskemét	0,51	0,63
Siófok	0,51	0,77
Szombathely	0,06	0,07
19 állomás átlaga	0,46	0,64

3. táblázat Éves relatív becsült inhomogenitás (Relative Estimated Inhomogeneity, REI) és éves relatív idősor-módosítás (Relative Modification of Series, RMS)

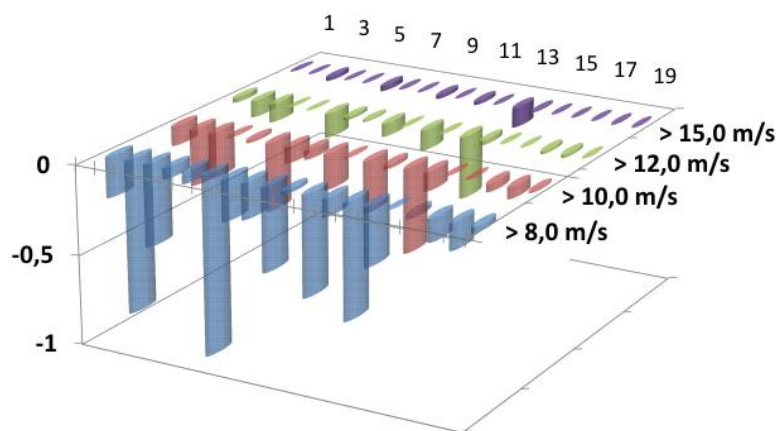
Szélindexek

Az alacsony napi átlagos szélességek éves előfordulása a vizsgált állomások többségén gyakoribbá vált a vizsgált időszak végére. Az 5. ábrán az adott küszöbértéknél kisebb szélességek éves előfordulási számának (wavgLT1, wavgLT3, wavgLT5) lineáris trendjeit mutatjuk be 1975–2012. között. A változásokra számított statisztikai próba ($p = 0,05$ mellett) alapján minden állomáson szignifikánsan növekszik az éves wavgLT5 szélindex, valamint az állomások döntő többségén ugyancsak szignifikánsak az éves wavgLT3 trendek, kivéve Szolnok (7.), Siófok (13.) és Békéscsaba (19.) állomásokat. Az éves wavgLT1 szélindex trendjei nem szignifikánsak a következő állomásokon: Zalaegerszeg (11.), Nagykanizsa (12.), Pécs (14.), Kecske-mét (17.) és Békéscsaba (19.).



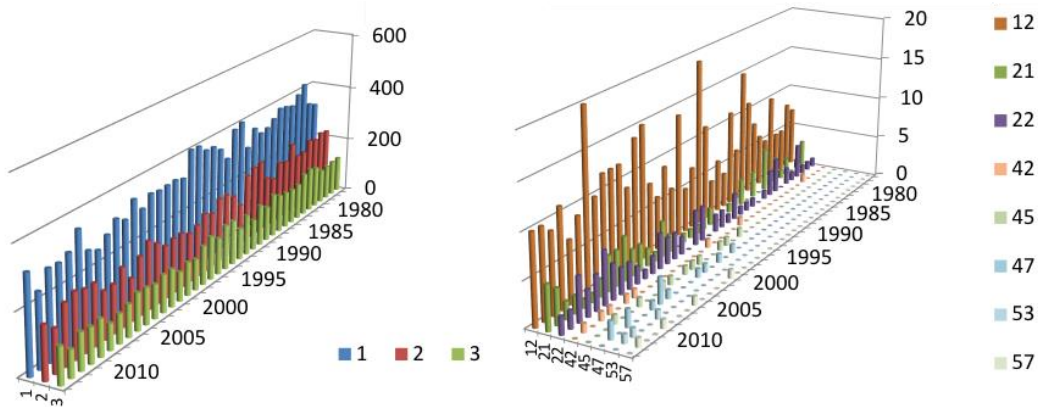
5. ábra A homogén adatsor alapján számított wavgLT1, wavgLT3 és wavgLT5 szélindexek (adott küszöbértéknél kisebb szélességek éves előfordulásának száma) lineáris trendjei a vizsgált állomásokon 1975–2012. között

A nagyobb napi átlagos szélességek minden vizsgált állomáson csökkenő tendenciát mutatnak (6. ábra). Statisztikai próba eredményeképpen ($p = 0,05$) a változások – Paks (15.) állomás kivételével – szignifikánsak az élénk szeles napok éves számát (wavgGT8) tekintve. Ellenben, a viharos napok éves számának (wavgGT15) csökkenése csak Szombathely (3.), Szolnok (7.), Zalaegerszeg (11.) és Siófok (13.) állomásokon szignifikáns.



6. ábra A homogén adatsor alapján számított wavgGT8, wavgGT10, wavgGT12 és wavgGT15 szélindexek (adott küszöbértéknél nagyobb szélességek éves előfordulásának száma) lineáris trendje 1975–2012. között a vizsgált állomásokon

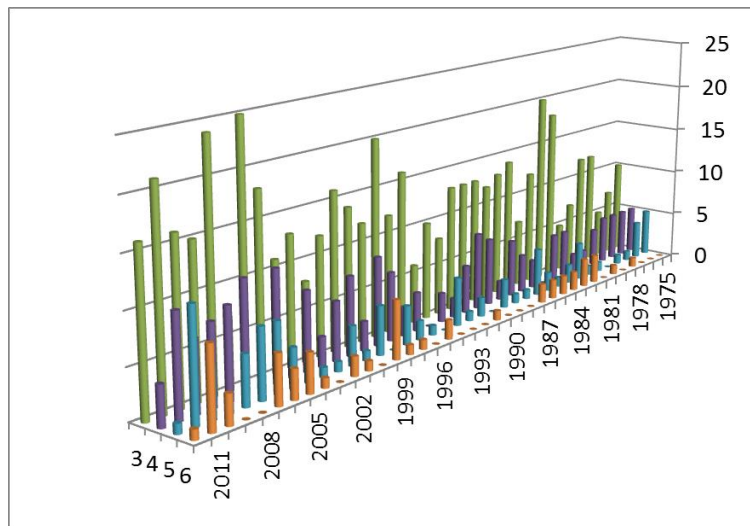
A 7. ábrán megfigyelhető, hogy a különböző színekkel ábrázolt rövid (egynapos, kétnapos, háromnapos) hosszúságú, 3 m/s-nál kisebb szélesebbégű egymást követő napok (ábra bal oldala) hosszának éves előfordulási száma (Cw3D) szignifikánsan csökken, ugyanakkor a hosszabb (ábra jobb oldala), kis szélesebbégű napok általában emelkedést, a nyolc ábrázolt esetben szignifikáns emelkedést mutatnak. A 42 napnál hosszabb, 3 m/s-nál kisebb szélesebbégű egymást követő napok az ábrán jól látható módon kizárólag a vizsgált időszak második felében voltak jellemzőek.



7. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw3D szélindex (3 m/s-nál kisebb szélesebbégű egymást követő napok hosszának éves előfordulási száma) 19 állomásra összegzett éves előfordulási száma 1975–2012. között.

Az ábrázolt adatsorok lineáris trendjei szignifikánsak.

A 3–6 nap hosszúságú Cw1D szélindex időbeli változását szemlélteti a 8-9. ábra. Az ábrázolt idősorok trendje szignifikáns emelkedést mutat, azaz a vizsgált állomásokat együttesen tekintve egyre gyakoribbak a kis szélesebbégű periódusok előfordulása.

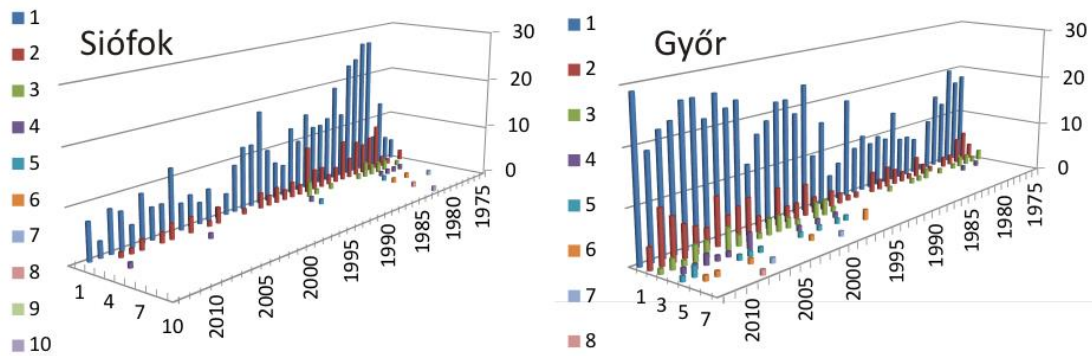


8. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw1D szélindex (1 m/s-nál kisebb szélesebbégű 3–6 nap hosszúságú egymást követő napok éves előfordulásának száma a 19 állomáson együttesen) 1975–2012. között.

Az ábrázolt adatsorok növekedése szignifikáns.

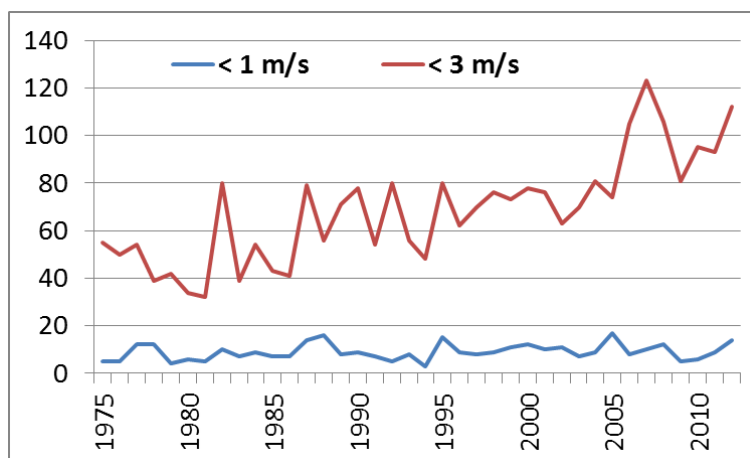
A 9. ábrán két kiválasztott állomás Cw1D indexei változását vehetjük össze. Siófokon a különböző hosszúságú 1 m/s-nál kisebb napi szélesebbégű periódusok száma szignifikáns csökkenést mutat. A leghosszabb periódus 10 napos volt (1982.01.22.). Győrött a Cw1D indexek

ugyanakkor növekednek az átlagos szélesség csökkenése mellett. Ezen az állomáson a maximális hosszúságú nyolcnapos periódust 2008 októberében találtuk.



9. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw1D szélindex (1 m/s-nál kisebb napi átlagos szélességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves előfordulási száma) Siófokon és Győrről 1975–2012. között

Az egymást követő kis szélességű napok éves száma mellett megvizsgáltuk a kis szélességű egymást követő napok éves maximális hosszát az egyes állomásokon, illetve együttesen, az éves abszolút maximumok hosszát a 19 állomás adatsora alapján. A 10. ábrán mutatjuk be a Cw1Dmax és Cw3Dmax indexek időbeli alakulását az adott év összes állomását tekintve (kis szélességű napok hosszának éves abszolút maximuma). A Cw3Dmax szélindex trendje szignifikáns emelkedést mutat a vizsgált időszakban, szemben Cw1Dmax indexszel, mely ugyan kismértékben emelkedik, változása nem szignifikáns.



10. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw1Dmax és Cw3Dmax szélindexek (1 és 3 m/s-nál kisebb szélességű egymást követő napok éves maximális hossza a 19 állomáson) 1975–2012. között

ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánk szélklímájának, az átlagos és extrém paraméterek viselkedésének mélyebb megismerése céljából, a jövőre vonatkozó helyes következtetések megalkotása érdekében homogenizáltuk a rendelkezésre álló hazai szinoptikus mérőhálózat szélesség adatait (1975–2012). A homogenizált adatsorok elemzéséből az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

(1) Az idősorokban rejlő inhomogenitások akár ellentétes irányú, hamis trendeket is eredményezhetnek. (2) Az inhomogenitás mérőszámai – az éves relatív becslés inhomogenitása (REI)



és az éves relatív idősor-módosítás (RMS) – Szombathelyen a minimum, Zalaegerszegen a maximum értéket vették fel. Az eredeti és a homogenizált adatsorokból számított tendenciákat tekintve a legkisebb eltérést Szombathelyen, míg a legnagyobbat Zalaegerszegen tapasztaltuk. **(3)** Az alacsony napi átlagos szélességek éves előfordulása a vizsgált állomások többségén gyakoribbá vált a vizsgált időszak végére. Minden állomáson szignifikánsan növekszik az éves wavgLT5 szélindex, valamint az állomások döntő többségén ugyancsak szignifikánsak az éves wavgLT3 trendek. **(4)** A nagyobb napi átlagos szélességek minden állomáson csökkenő tendenciát mutatnak, a változások – Paks kivételével – szignifikánsak az élénk szeles napok éves számát (wavgGT8) tekintve. Ellenben, a viharos napok éves számának (wavgGT15) csökkenése csak Szombathely, Szolnok, Zalaegerszeg és Siófok állomásokon szignifikáns. **(5)** A rövid (egynapos, kétnapos, háromnapos) hosszúságú, 3 m/s-nál kisebb szélességű egymást követő napok hosszának éves előfordulási száma (Cw3D) szignifikánsan csökken, ugyanakkor a hosszabb, kis szélességű napok trendje általában emelkedik. A 42 napnál hosszabb, 3 m/s-nál kisebb szélességű egymást követő napok kizárólag a vizsgált időszak második felében voltak jellemzőek. **(6)** A Cw1D szélindex időbeli változása a 19 állomásra összegezve szignifikáns emelkedést mutat a 3–6 nap hosszúságú periódusokra, azaz a vizsgált állomásokat együttesen tekintve egyre gyakoribbak a kis szélességű periódusok előfordulása. **(7)** A Cw3Dmax szélindex trendje, a kis szélességű egymást követő napok éves maximális hossza szignifikáns emelkedést mutat a vizsgált időszakban, szemben Cw1Dmax indexszel, mely ugyan kismértékben emelkedik, változása nem szignifikáns.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatásokat az OTKA K-78125 számú pályázata, valamint a FuturICT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013, a KMR_12-1-2012- 0206 és a GOP-1.1.1.-11-2012-0164 kutatási pályázatok támogatták.

Köszönjük az MH Geoinformációs Szolgáltatnak és az Országos Meteorológiai Szolgáltatnak a mérési adatok rendelkezésre bocsátását. Külön köszönjük Szentimrey Tamásnak, az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársának a személyes konzultációk lehetőségét, valamint szakmai tanácsait a homogenizációs eredmények elemzéséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BARTHOLY JUDIT – PONGRÁCZ RITA Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change*, 57, pp. 83–95., 2007.
- [2] TANK A.M.G. KLEIN – G.P. KÖNNEN Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16, pp. 3665–3680., 2003.
- [3] ENRIC AGUILAR – INGE AUER – MANOLA BRUNET – THOMAS C. PETERSON – JON WIERINGA Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization, Geneve, 2003
- [4] SZENTIMREY TAMÁS Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, 27–46., 1999.
- [5] SZENTIMREY TAMÁS Manual of homogenization software MASHv3.03. Hungarian Meteorological Service, Budapest. 64p., 2011.
- [6] PÉLINÉ NÉMETH CSILLA – DR. RADICS KORNÉLIA – DR. BARTHOLY JUDIT Reanalízis idősorok szélklimatológiai vizsgálata, Repüléstudományi Közlemények Különszám 2012. (e-dok.) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/25_Peline_N_Csilla-Radics_Kornelia-Bartholy_Judit.pdf (2014.03.02.)
- [7] PÉLINÉ NÉMETH CSILLA – BARTHOLY JUDIT – PONGRÁCZ RITA Homogenization of Hungarian daily wind speed data series, *Időjárás*, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 118., No. 1, January–March 2014 (megjelenés alatt)

Varga Béla¹ – Békési László²

“TÉNYLEG NEM A MÉRET SZÁMÍT?”, AVAGY HOGYAN BÜNTETI A KIS MÉRET A HELIKOPTER “TURBOSHAFT” HAJTÓMŰVEKET³

A címben szereplő kifejezésre a válasz egyértelmű. Igenis a méret számít. A gázturbinás hajtóművek hatásfokát és fajlagos hasznos munkáját vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy a helikopter „turboshaft” hajtóművek említett mutatói jelentősen alatta maradnak az egyéb gázturbináknál megszokott értékeknél, ami napjainkban maximális teljesítménynél (felszálló üzemmódon) 40% feletti, illetve 400 kJ/kg feletti. Ugyanakkor a helikopter hajtóművek esetében a 30% körüli termikus hatásfok már jónak számít, míg a fajlagos hasznos munka értéke 200-250 kJ/kg. Ez a negatív hatás a kompresszorok kis méretével, ennek megfelelően főleg a hátsó fokozatok kis lapáthosszával (a relatív lapátrés növekedésével), illetve az áramlás alacsony Reynolds számával magyarázható. A cikk a kompresszor méret, illetve ezzel összefüggésben a fenti teljesítmény-jellemzők lehetséges változását vizsgálja.

“REALLY THE SIZE IS INDIFFERENT?”, OR HOW THE HELICOPTER TURBOSHAFT ENGINES ARE PENALISED BY THEIR OWN SMALL SIZE

The answer for the question in the title is obvious. The size is extremely important. Examining the thermal efficiency and specific net work output of gas turbine engines, it is well proved that the above mentioned performance indicators of helicopter turboshaft engines are greatly lower than the average of other gas turbine categories, which is today at take off power over 40% and 400 kJ/kg. Meanwhile 30% thermal efficiency and 200-250 kJ/kg specific net work output are considerable at helicopter turboshafts. This negative effect mainly comes from the small size of their compressor and the accordingly low blade length, especially in the rear stages (higher relative blade tip clearance) and the low Reynolds number of the flow. In this paper the compressor size and its correlation with the above mentioned performance indicators are examined.

JELÖLÉSEK

- η_i : a hajtómű valós termikus hatásfoka [%];
- P : a hajtómű tengelyteljesítménye [W, (kW)];
- $F_{ü}$: a tüzelőanyag fűtőértéke (kerozin: 43217080 J/kg);
- \dot{Q}_b : hőáram, a hajtóműbe másodpercenként bekerülő hőmennyiség [J/s];
- $\dot{m}_{üza}$: a hajtómű tüzelőanyag fogyasztása [kg/s];
- \bar{c} : a hajtómű fajlagos tüzelőanyag fogyasztása [kg/Nh, kg/kWh];
- σ : a hajtómű nyomásveszteségi tényezője (szívócsatorna, égőtér, gázelvezető rendszer, eyebek) [-];
- η_{pole} : az expanzió politrópikus hatásfoka [%];
- η_m : mechanikai hatásfok, figyelembe véve a segédberendezések teljesítmény felvételét [%];
- η_e : égési hatásfok [%];

¹ főiskolai docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, varga.bela@uni-nke.hu

² főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

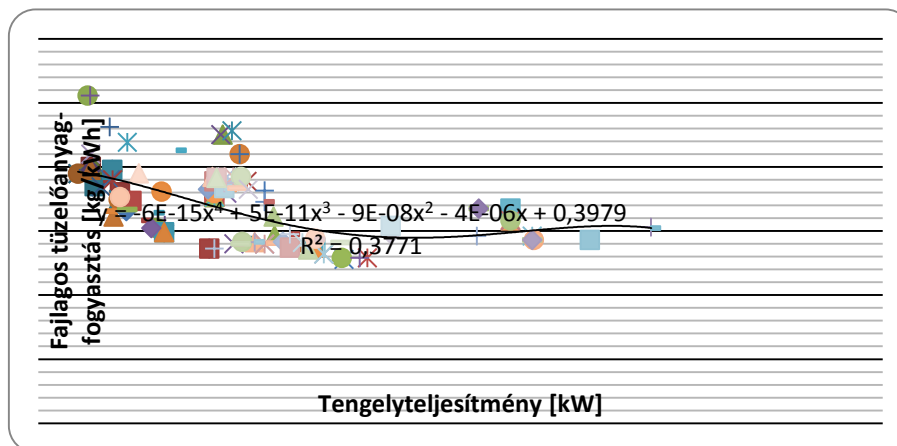
³ Lektor: Dr. Kavas László alezredes, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu

w_h :	a körfolyamat fajlagos hasznos munkája [J/kg];
\dot{m} :	a hajtómű leírásokban megadott névleges tömegáram [kg/s];
π :	kompreszor nyomásviszony [-];
$w_h(\pi)$:	fajlagos hasznos munka, mint a kompreszor nyomásviszony függvénye [J/kg];
T_1 :	kompreszor előtti hőmérséklet [K];
T_2 :	kompreszor kilépő keresztmetszetének hőmérséklete [K];
$\eta_t(\pi)$:	a körfolyamat valós termikus hatásfoka a kompreszor nyomásviszony függvényében [%];
κ :	adiabatikus kitevő a kompresszióra [-];
$R(q_t)$:	a termodinamikai folyamat specifikus gázállandója [J/kgK];
$q_t = \dot{m}_{üzta} / \dot{m}$:	az égőtérben a tüzelőanyag és a levegőáram viszonyszáma, ami utal az égéstermék összetételére [-];
$\eta_{polk(i)}$:	az i-edik fokozat politrópikus hatásfoka [%];
$\eta_{polk(0)}$:	a kompreszor belépő keresztmetszet politrópikus hatásfoka zérus lapátrés értéket feltételezve [%];
K_k :	a tapasztalati képlet kísérletek által meghatározott kompreszorra jellemző konstansa (1) [-];
m_k :	a tapasztalati képlet kísérletek által meghatározott kompreszorra jellemző konstansa (2) [-];
l_r :	az abszolút lapátrés értéke (egy adott kompreszor esetében vehetjük állandó értékűnek az összes fokozatra) [m];
$l_{(i)}$:	az i-edik fokozat lapátmagassága [m];
p_0 :	környezeti nyomás, Nemzetközi Egyezményes Légkör (H = 0 m, 101325 Pa);
$p_{2(i)}$:	a kompresszió végnyomása az i-edik lépésnél [Pa];
$T_{2(i)}$:	a kompresszió véghőmérséklete az i-edik lépésnél [K];
$\rho_{2(i)}$:	a közeg sűrűsége az i-edik lépésnél [kg/m ³];
c_a :	a munkaközeg axiális sebessége a kompreszorban [m/s];
d_k :	a kompreszor középátmérője [m];
ξ :	szűkítési tényező, kifejezi a lapátozás keresztmetszet csökkentő hatását [-];
$d\pi_{(i)}$:	elemi nyomásviszony változás az adott lépésnél [-];
$\pi_{(i)}$:	nyomásviszony az i-edik lépés után [-];
$\rho_{2(i)}$:	a közeg sűrűsége az i-edik lépésnél [kg/m ³];

A cikk címében szereplő „turboshaft” gázturbinás hajtómű kategória gyors fejlődése az 50-es években kezdődött döntő részben a helikopterek térhódításának következtében. Néhány év alatt az igényelt egyre nagyobb maximális felszálló-tömeg és hasznos terhelés miatt a helikopterek kinőtték a rendelkezésre álló dugattyús motorokat és a váltás egyetlen alternatívája egy könnyű, nagy tengelyteljesítményt szolgáltató erőforrás volt, amire ez a kategória tökéletesen alkalmas. Természetesen az elmúlt 60 év számtalan fejlesztést és újítást hozott jelentősen javítva ezeknek a hajtóműveknek a teljesítményét és hatásfokát, de ugyanúgy előrelépést jelentett az üzemeltethetőségi, karbantartási és javíthatósági mutatókban, illetve magának a helikopternek a légi üzemeltetésében is. Van azonban ezeknek a hajtóműveknek egy jelentős hátránya, ez pedig méretükből adódik, ami sajnos jelentősen bünteti ezt a hajtómű kategóriát mind a fajlagos hasznos munkája, mind pedig a termikus hatásfoka szempontjából.

HELIKOPTER HAJTÓMŰVEK STATISZTIKAI ELEMZÉSE

A cikknek ebben a részében korántsem teljes, de nagyszámú helikopter hajtómű statisztikai elemzését végeztük el [5]. Az ábrákon a feldolgozásából kapott diagramokat látjuk, ahol Excel függvénykezelővel a teljesítmény függvényében ábrázoltuk a különböző hajtómű jellemzőket.



1. ábra A fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás és a teljesítmény statisztikai összefüggése

Ami első látásra szembeűnő (1. ábra), hogy teljesítmény szempontjából a helikopter hajtóművek három jól elkülöníthető csoportra oszthatók fel, amelyek között jól érzékelhető szakadás van. A legkisebb teljesítmény kategória 200–800 kW-os felszálló teljesítményt biztosít. A közepes teljesítmény kategóriába 1000–2200 kW-ot szolgáltató hajtóművek tartoznak, míg a nagy kategóriában 2500–3700 kW-os felszálló teljesítményekkel találkozhatunk. Láthatóan ez utóbbi tartalmazza a legkevesebb példányt. Ez nem jelenti azt, hogy összesen ennyi hajtómű létezne ebben a kategóriában, de mindenképpen a „nehéz” szállító helikopter típusok kis száma és egy-egy típuson belül a viszonylag alacsony gyártási szám miatt koránt sincs az a bőség, mint a kis és közepes kategóriákban.

Természetesen, néhány esetben találhatunk a fenti intervallumból kilógó adatokat. A T64-GE-100-as 3228 kW-os teljesítménye 13,3 kg/s-os levegőfogyasztás mellett magasnak számít, de

ez is eltörpül a Mi-26-os helikopter D-136-os hajtóművének 8501 kW-os teljesítményéhez képest. Ez utóbbi hajtóműnek a viszonylag magas levegőfogyasztása miatt a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása is jó (0,266 kg/kWh). Ugyanakkor a gyári adatok alapján manapság az RTM 322-04/08, az RTM 322-01/9 és az RTM 322-01/9A hajtóművek képviselik az élvonalat 0,258 kg/kWh fajlagos tüzelőanyag-fogyasztással, ami kevéssel 30% feletti termikus hatásfokot eredményez.

Viszont a kis teljesítmény kategóriában találkozunk 0,5 kg/kWh körüli fajlagos fogyasztás értékekkel is. Pl. a nálunk jól ismert Mi-2 helikopter GTD 350 hajtóművének 0,489 kg/kWh fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása is kiugróan magas. Ez magyarázható a hajtómű korával és kis méretével. Az ismertetőkből legtöbb esetben a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás adják meg, de ez könnyen konvertálható termikus hatásfokká a következő módon:

$$\eta_t = \frac{P[W]}{\dot{Q}_b \left[\frac{J}{s} \right]} = \frac{P[W]}{\dot{m}_{\text{üze}} \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot F_{\text{ü}} \left[\frac{J}{kg} \right]} \quad \text{míg a} \quad \bar{c} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_{\text{üze}} \left[\frac{kg}{s} \right]}{P[kW]} \left[\frac{kg}{kWh} \right] \quad (1)$$

$$\eta_t = \frac{1}{\frac{\bar{c}}{3600} \left[\frac{kg}{kWs} \right] \cdot F_{\text{ü}} \left[\frac{kJ}{kg} \right]} = \frac{3600}{\bar{c} \cdot 43217,08} [-] \quad (2)$$

Természetesen a (2) képlet akkor ad helyes eredményt, ha a fajlagos tüzelőanyag fogyasztást, \bar{c} a levezésnek megfelelően kg/kWh mértékegységgel helyettesítjük be. Az átszámításnál és egyáltalán későbbi termikus elemzéseknél a tüzelőanyag fűtőértéke lehet még kérdéses. Itt a Boeing „Jet Fuel Characteristics” munkaanyagában megadott átlagos 18580 BTU/lb⁴ értéket fogadtuk el irányadónak, ami átváltás után 43217080 J/kg-nak felel meg [1].

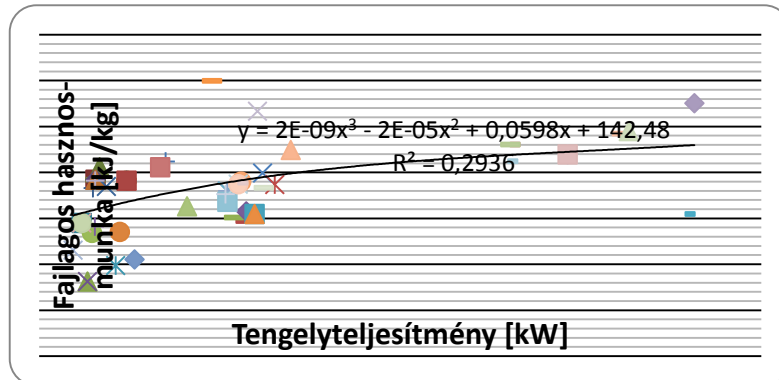
A gázturbinás hajtóművek hatásfokát vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy ennek a kategóriának a termikus hatásfokai jelentősen alatta maradnak az egyéb gázturbináknál megszokott értékeknek, ami napjainkban maximális teljesítménynél (felszálló üzemmódon) 40% feletti lehet. Ugyanakkor a helikopter hajtóművek esetében a 30% körüli hatásfok már jónak számít. Ennek megfelelően a termikus hatásfok értéke átlagosan 20–32% között mozog.

Polinommal való közelítésnél a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás trendgörbe (1. ábra) a teljes teljesítmény vertikumban először egy jelentős csökkenést, majd többé-kevésbé állandó (0,3 kg/kWh, megfelel kb. 27–28%-nak) értéket mutat. Az átlagot tekintve mindenképpen az látható, hogy a nagyobb teljesítmények felé csökken a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, illetve nő a termikus hatásfok.

Ez persze csak áttételesen kapcsolódik a teljesítményhez. A valós ok az, hogy a nagyobb teljesítményhez nagyobb levegőszállítás tartozik, ami a nagyobb geometriai méretek (kisebb relatív lapátrések) miatt jobb gépegység hatásfokokat eredményez. Ez még inkább igaz, ha a levegőfogyasztás maximuma nem 10 kg/s körül van, hanem mint más kategóriák esetében 30 kg/s, vagy afelett. Visszatérve a helikopter gázturbinákra, ennek megfelelően a rosszabb termikus hatásfokok (nagyobb fajlagos tüzelőanyag-fogyasztások) a kisebb, illetve a korábbi tervezésű

⁴ BTU/lb: British thermal unit per pound

hajtóműveknél várhatóak. Természetesen az egyes gyártók közötti technológiai fejlettségbeli különbségek szintén megjelenhetnek hatásfok különbségben, azonban ez a mai globalizálódó világunkban egyre kevésbé jellemző. A fenti termikus hatásfok adatoknak az elemzésére a későbbiekben visszatérünk.



2. ábra A fajlagos hasznos munka és a teljesítmény statisztikai összefüggése

A következő fontos jósági mutató a hajtóművek fajlagos hasznos munkája (2. ábra) Ennek a mutatónak szoros kapcsolata van a hajtómű geometriai méreteivel, illetve tömegével. Minél nagyobb a hajtómű fajlagos hasznos munkája, annál kisebb tömegáram szükséges azonos tengelyteljesítmény létrehozásához, csökkentve ezzel a hajtómű méreteit, illetve esetlegesen tömegét. Sajnos még az alsó kategóriákban is csak a hajtóművek töredékénél állt rendelkezésemre a tömegáram is, így trendvonal felvétele meglehetősen kétséges, de jól láthatóan széles a szórás a fajlagos hasznos munka tekintetében.

KOMPRESSZOR POLITRÓPIKUS HATÁSFOK, FAJLAGOS HASZNOS MUNKA ÉS A TERMIKUS HATÁSFOK ÖSSZEFÜGGÉSEI

A gázturbinás hajtóművek paraméter érzékenységi vizsgálata alapján a kompresszor politrópikus hatásfokának⁵ van az egyik legjelentősebb hatása a hajtómű termikus jósági jellemzőire. Csökkenése az összes többi gépegység veszteségnél intenzívebben rontja a fajlagos hasznos munkát. A termikus hatásfokra gyakorolt hatás szempontjából csak a turbina politrópikus hatásfok csökkenésének van némileg nagyobb hatása. Figyelembe véve mindkét jellemzőt, kijelenthetjük, hogy a kompresszor politrópikus hatásfokának kiemelt szerepet kell tulajdonítani [2]. Ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy ennél a gázturbinás hajtómű kategóriánál a kompresszor maga és ezen keresztül a kompresszor politrópikus hatásfok érzékeny terület. Ez megjelenik már a tervezési folyamat során. Mint többször említettük, ezeknek a hajtóműveknek a viszonylag kis méretei (kisebbsébb levegőszállítás) kis kompresszor méreteket is eredményez. Törekedve a magas termikus hatásfokra és ennek megfelelően növelve a kompresszor nyomásviszonyt, rendkívül alacsony hátsó fokozat lapátmagasságok adódnak. A kis lapátmagasságok egyébként sem kedvezőek, de figyelembe véve, hogy még kis lapátrés esetén is a relatív lapátrés (a lapátvég és ház közötti rés, valamint a lapáthossz viszonyszáma) túlságosan nagyra adódik drasztikusan lerontva a hátsó fokozatok politrópikus hatásfokát, ami természetesen érezteti a hatását az egész kompresszor

⁵ Politrópikus hatásfok: áramlási gépek veszteségességét kifejező fogalom

politrópikus hatásfokán is. Ennek az az eredménye, hogy lehetetlen ugyanazokat a jósági mutatókat produkálni ezekkel a hajtóművekkel, mint egy nagyobb gázturbinás hajtóművel, amelynek a levegőfogyasztása meghaladja a 30–40 kg/s-ot.

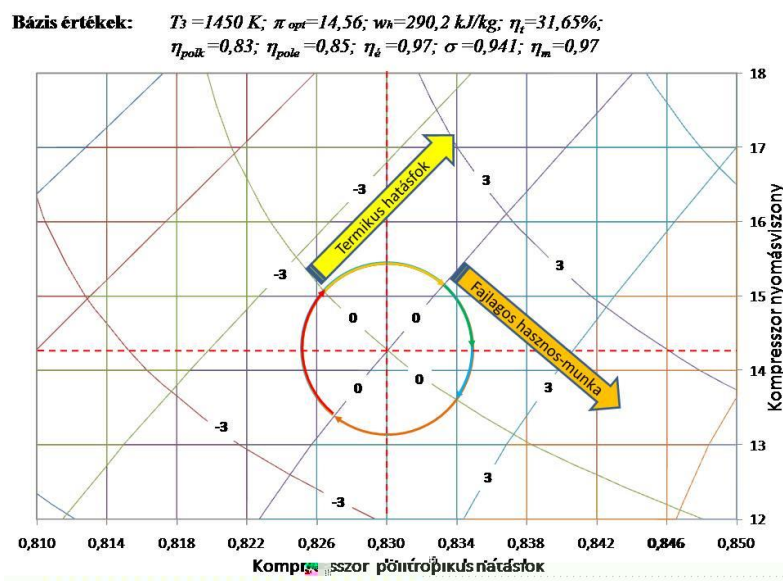
Másik jellemző probléma, hogy a helikopterek jellegükből adódóan (különösen a katonai helikopterek) gyakran használnak kiépítetlen le és felszállóhelyeket akár sivatagos területen is. Sokszor maga a repülési magasság is igen alacsony, ezzel nagymennyiségű szennyeződés, por, homok hajtóműbe való beszívását okozva. Ez a külső hatás szintén elsősorban a kompresszort, annak is az első fokozatát érinti jellemzően radikálisan csökkentve a politrópikus hatásfokát, a létrehozható maximális nyomásviszonyt és a stabilitási tartalékát.

Ebben a fejezetben először az első problémára szeretnénk rávilágítani, nevezetesen, hogy ennél a hajtómű kategóriánál milyen szempontokat vehetnek figyelembe a tervezés folyamatánál és ezek milyen hatással lesznek a hajtóművek termikus jósági jellemzőire (termikus hatásfok, fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, fajlagos hasznos munka).

1.1 Termikus hatásfok, fajlagos hasznos munka, kompresszor politrópikus hatásfok és a kompresszor nyomásviszony összefüggései

A szerzők egyikének PhD értekezésében [2] létrehozott modell segítségével ábrázolásra került a termikus hatásfok, fajlagos hasznos munka görbesereg a kompresszor politrópikus hatásfok és a nyomásviszony függvényében (3. ábra).

A vizsgálathoz tartozó bázis adatok (hatásfokok, turbina előtti gázhőmérséklet) az ábra felső részén olvashatóak. Ez az ún. optimális nyomásviszonyra (termikus hatásfok és a fajlagos hasznos munka maximumai közötti optimum) 290,2 kJ/kg fajlagos hasznos munkát és 31,65%-os termikus hatásfokot adott meg (a „0”-al jelzett görbék metszéspontja 3. ábrán). Megjegyzendő, hogy ezek az értékek körülbelül megfelelnek egy mai korszerű helikopter hajtómű vonatkozó adatainak.



3. ábra Termikus hatásfok és fajlagos hasznos munka a kompresszor politrópikus hatásfok és nyomásviszony függvényében

Jelen esetben nem is az alapadatok a lényegesek, hanem a változások mértéke és iránya a kompresszor politrópikus hatásfokának változásakor rögzített turbina előtti gázhőmérséklet esetében. A 0-val jelzett görbékhez képest a ± 3 -al jelölt görbék mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok 3%-os eltérését mutatják a bázis értékhez képest az előjeleknek megfelelően.

A 3. ábrából látható, hogy a kompresszor nyomásviszony növelésekor „vékony jégen” egyenúlyoznak a tervezők. Egyértelműen pozitív hatást csak a gyűrű zöld szektorában várhatunk. Ebben az esetben a nyomásviszony növekedése együtt járna a politrópikus hatásfok növekedésével. Itt mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok növekszik. Ennek a nehézsége abban rejlik, hogy a kompresszor politrópikus hatásfok csökkenés fokozottan sújtja ezt a hajtómű kategóriát, különösen abban az esetben, ha a hajtómű kívánt nyomásviszonyát a kompresszor fokozatok számának növelésével próbálják elérni. Ehhez maguknak a fokozat politrópikus hatásfokoknak kell jelentősen javulniuk, hogy a kompresszor teljes politrópikus hatásfoka ne csökkenjen, sőt emelkedjen. Ez manapság nagyon nehéz, mert az alkalmazott 3D-s tervező rendszerekkel többé kevésbé elérték a lehetséges legjobb értékeket.

Adott esetben (kék szektor), a nyomásviszony csökkenése, ha ez együtt jár a kompresszor politrópikus hatásfokának növekedésével, pozitív hatással lehet, mind a fajlagos hasznos munkára, mind pedig a termikus hatásfokra. A sárga szektorok esetében legalább az egyik jellemző növekszik. A piros szektor mindkét jellemző szempontjából negatív hatást hoz. Látható, hogy még a vízszintes szaggatott vonal feletti része, ahol a nyomásviszony növekedésétől termikus hatásfok növekedést várnánk el, sem hoz pozitív eredményt.

Az elkészített program a fent elemzett hálót bármely turbina előtti gázhőmérsékletnél, illetve gépegység veszteségek esetében képes a kiválasztott nyomásviszony és politrópikus hatásfok tartományra felrajzolni és ezzel szemléletesen bemutatni, hogy adott nyomásviszony és politrópikus hatásfok változások hatására hogyan változnak a hajtómű jósági jellemzői.

1.2 Kompresszor lapáthossz és a politrópikus hatásfok összefüggése

A kompresszor fő méretei, ezen belül a lapáthossz jelentősen befolyásolja a kompresszor politrópikus hatásfokát. Ez természetesen összefügg a vizsgált hajtómű teljesítményével (tolóerejével). Kis teljesítményű hajtómű esetében értelem szerűen kisebb kompresszor méretekre van szükség rövidebb lapátokkal. A sűrítés miatt, figyelembe véve a folytonosság tételét az egymást követő fokozatok lapáthosszai folyamatosan csökkennek. A lapátrés méret (lapátvég és a kompresszorház közötti rés nagysága) nem csökkenhet zérusra. Természetesen a gyártók törekszenek ennek a résnek a minimalizálására (aktív részvezérlés), de ezt teljesen megszüntetni nem lehet. Értéke erősen függ az adott kor technológiai színvonalától és bizonyos mértékben az adott gyártó számára rendelkezésre álló technológiai lehetőségektől. Azt azonban leszögezhetjük, hogy az abszolút rés nagysága nem függ a hajtómű mérettől, vagyis elfogadható, hogy maga a lapáthossz nem befolyásolja a részt. Ez azt jelenti, hogy különböző méretű hajtóművekre felvehetünk azonos lapátrést, másrészt egy adott hajtómű esetén az összes fokozatra feltételezhetjük az azonos lapátrés értéket. Annál inkább befolyással lesz a lapáthossz a fajlagos lapátrés értékére, mivel az a lapátrés és a lapáthossz viszonzyszámaként definiálható. A fajlagos lapátrés (l_r/l_i) értéke a hátsó fokozatok felé egyre nagyobb lesz, mivel ahogy említettem, azonos lapát-

rés társul az egyre kisebb lapátmagasságokhoz. Ennek a hatását figyelembe kell venni a kompresszorok politrópikus hatásfokának meghatározásánál. Ehhez Prof. Dr. Pásztor Endre több kutató (Andenburg, Brown-Boveri, Kirillov, Stepanov) kutatásain és mérésein alapuló (3) tapasztalati képletét használtam fel a kompresszor nyomásviszonya és a politrópikus hatásfoka összefüggéseinek vizsgálatára [3]. Az egyenletben megjelenő K_k és m_k állandók a fentebb említett kutatók mérésein alapulnak, jól szimulálva a lapát magasság csökkenéséből adódó fokozatonkénti politrópikus hatásfok csökkenést.

$$\eta_{polk(i)} = \eta_{polk(0)} \left(1 - K_k \left(\frac{l_r}{l(i)} \right)^{m_k} \right) \quad (3)$$

1.3 A kompresszor politrópikus hatásfokának a meghatározása

A kompresszor politrópikus hatásfokának meghatározásához szükséges a nyomásviszony folyamatosan növelése minden lépésben meghatározva az adott lépéshez tartozó munkaközeg jellemzőket (nyomás, hőmérséklet, sűrűség). Ebben az esetben a nyomásviszony növekedését nem fokozatonként vizsgáljuk, hanem elemi változásokkal dolgozunk, hogy lehetőség legyen továbbra is a $\frac{dw_h(\pi)}{d\pi}$ és a $\frac{d\eta_i(\pi)}{d\pi}$ derivált függvények meghatározására. Ez a kiemelt (maximális fajlagos hasznos munkához, maximális termikus hatásfokhoz, valamint a köztük lévő közös optimumhoz tartozó) nyomásviszonyok és a hozzájuk tartozó jellemzők meghatározása miatt szükséges.

Első lépésként meghatározzuk az aktuális lapátmagasságot ($l(i)$), felhasználva a folytonosság tételét, illetve ebből az ahhoz tartozó politrópikus hatásfokot.

$$l(i) = \frac{\dot{m}}{\rho_{(i)} \cdot c_a \cdot d_k \cdot \Pi \cdot \xi} \Rightarrow \eta_{polk(i)} = \eta_{polk(0)} \left(1 - K_k \left(\frac{l_r}{l(i)} \right)^{m_k} \right) \quad (4)$$

Az elemi nyomásviszony növekedés definiálásához a felírjuk a Poisson egyenletet, a kompresszió vég hőmérsékletét ($\Delta T = T_{2(i)} - T_{2(i-1)} = 2 \text{ K}$) fokenként növelve.

$$d\pi_i = \left(\frac{T_{2(i)}}{T_{2(i-1)}} \right)^{\frac{\kappa_{l(i)} \cdot \eta_{polk(i)}}{\kappa_{l(i)} - 1}} \quad (5)$$

Ennek megfelelően a nyomásviszony:

$$\pi_{(i)} = \pi_{(i-1)} \cdot d\pi_{(i)} \rightarrow p_{2(i)} = p_0 \cdot \pi_{(i)} \rightarrow \rho_{2(i)} = \frac{p_{2(i)}}{R(q_i) \cdot T_{2(i)}} \quad (6)$$

Ahol az első lépésnél $\pi_{(i-1)} = 1$, a továbbiakban pedig az előző lépésig létrejött teljes nyomásviszony. Ebből az általános gáztörvénnyel meghatározható az adott keresztmetszetben a sűrűség. Ezzel végezve a ciklus visszatér az (4) egyenletekhez addig, amíg a keresett nyomásviszonyt el nem érjük:

- tetszőleges turbina előtti hőmérsékletnél azt a három nyomásviszonyt, ahol

$\frac{dw_h}{d\pi} = 0; \frac{d(w_h \cdot \eta_t)}{d\pi} = 0; \frac{d\eta_t}{d\pi} = 0$, illetve bármely egyéb tetszőlegesen definiált nyomásviszonyt;

- 100 K fokenként növekvő turbina előtti gázhőmérsékleteknél azt a három nyomásviszonyt ahol $\frac{dw_h}{d\pi} = 0; \frac{d(w_h \cdot \eta_t)}{d\pi} = 0; \frac{d\eta_t}{d\pi} = 0$.

A ciklusból kilépve meghatározhatjuk az adott nyomásviszonyú kompresszorra a politrópikus kompresszor hatásfokot az (6) egyenlettel.

$$\eta_{polk} = \frac{\kappa_l}{\kappa_l - 1} \cdot \frac{\ln \pi}{\ln \frac{T_2}{T_1}} \quad (6)$$

1.4 A hajtómű (kompresszor) méret hatásának vizsgálata a hajtómű jósági jellemzőire

A modell segítségével két méretében (levegőfogyasztásában) jelentősen eltérő hajtómű koncepciót vizsgálunk meg. Ez azt jelenti, hogy mindkét méret (levegőfogyasztás) esetében a ma elfogadható turbina előtti gázhőmérséklet tartományt vesszük figyelembe, illetve az adott kiinduló feltételek melletti lehetséges kompresszor nyomásviszony illesztést az optimum keresés jegyében. A kiinduló feltételeket ennek megfelelően azonosra állítjuk be. A gépegység veszteségek ($\eta_{pole}=0,87; \eta_e=0,97; \sigma=0,941; \eta_m=0,97$). A levegőelvitel 2% használati levegő a kompresszor utolsó fokozatától és 2% hűtőlevegő szintén a kompresszor utolsó fokozatától.

további fokozat politrópikus hatásfokokat és ebből az adott nyomásviszonyú kompresszorra vett politrópikus hatásfokot a program számolja az (4) és a (6) egyenletek alapján. További adatok az 1. táblázat felső sorában jelennek meg. A szállított levegő értéke 5 kg/s, megfelel egy korszerű helikopter hajtómű esetében ($T_3 \approx 1500$ K) kb. 1500 kW tengelyteljesítménynek, ami ezeknél a hajtóműveknél a közepes teljesítmény-kategóriát képviseli.

A középátmérőt és az axiális sebességet (0,22 m, 120 m/s) hozzávetőlegesen került megadásra figyelembe véve hasonló hajtóművek vonatkozó adatait. A lapátrésre fokozattól függetlenül 0,3 mm-t vettünk fel. A szűkítési tényező⁶ (0,98) a kompresszor lapátozás keresztmetszet csökkentő hatását fejezi ki. Az első fokozat lapáthossz (0,0502 m) már számított érték az előzőekben felsorolt adatok alapján. A turbina előtti gázhőmérséklet 1100 K-tól 1800 K-ig terjed.

Az 1100 K manapság már nem jellemző, míg az 1800 K a felső határt képezi a turbina előtti gázhőmérsékletek tekintetében. Lehet ennél magasabb hőmérséklet értéket olvasni egyes szakirodalmakban, de ezek inkább találgatás szintjén vannak. Ezek a turbina előtti gázhőmérsékletek nem specifikusan helikopter gázturbinákra, hanem általánosan gázturbinákra vonatkoznak. Az 1. táblázatot elemezve, a második oszlop nyomásviszony értékei azt jelzik, hogy az adott turbina előtti hőmérséklet mellett a fajlagos hasznos munka (a táblázat első része), a termikus hatásfok (a táblázat utolsó része), illetve a kettő közötti optimum (a táblázat középső része)

⁶ Szűkítési tényező: becsült érték, a kompresszor áramlás szempontjából szabad belépési keresztmetszetének (a lapátozás figyelembe vételével) és a névleges belépési keresztmetszetének viszonya.

milyen nyomásviszonynál éri el a lehetséges maximumát a fenti feltételek mellett.

A fajlagos hasznos munka 127 kJ/kg-tól (1100 K, maximális termikus hatásfokra optimalizálva) 465 kJ/kg-ig (1800 K, maximális fajlagos hasznos munkára optimalizálva) terjedő értékeket vehet fel. A termikus hatásfok alsó értéke 21,13% (1100 K, fajlagos hasznos munkára optimalizálva), míg felső értéke (1800 K, maximális termikus hatásfokra optimalizálva) 37,17%. A kompresszor nyomásviszony 5,58-tól 28,42-ig terjed. Ami szembetűnő, hogy magasabb turbina előtti gázhőmérséklet tartomány (hozzátartozó magas kompresszor nyomásviszonyokkal) milyen rövid hátsó fokozat lapáthosszakát eredményez (1400–1500 K-nél 0,01 m körüli értékek).

Már ez is határértéknek számít a lapáthossz szempontjából. Ez indokolja, hogy manapság általános elrendezésnek tekinthető, hogy a fenti feltételeknek megfelelő vagy ennél kisebb, 12–16-os kompresszor nyomásviszonyú hajtóművek utolsó centrifugális fokozattal készülnek. A hajtómű hosszmeretének csökkentésén felül ennek az oka, hogy az utolsó centrifugális fokozat politrópikus hatásfoka szintén viszonylag gyenge, de még mindig jobb, mint a 0,01 m-es lapáthosszal alatti axiális fokozatoké.

szállított levegő [kg/s]	középátmérő [m]	lapátrés [m]	fedettségi tényező [-]	axiális sebesség [m/s]	első fok lap. hossz [m]	
5	0,22	0,0003	0,98	120	0,0502	
A maximális fajlagos hasznos munkához tartozó értékek						
T_3 [K]	π [-]	utolsó fok lap. hossz [m]	η_{polk} [-]	wh(max) [kJ/kg]	η_t [%]	P [kW]
1100	5,58	0,0161	0,831	137,38	21,13	687
1200	6,53	0,0146	0,829	175,46	23,63	877
1300	7,54	0,0132	0,827	216,75	25,85	1084
1400	8,63	0,0121	0,825	261,03	27,85	1305
1500	9,79	0,0111	0,823	308,13	29,65	1541
1600	11,01	0,0103	0,821	357,89	31,28	1789
1700	12,29	0,0096	0,819	410,20	32,77	2051
1800	13,63	0,0089	0,817	464,94	34,14	2325
A maximális fajlagos hasznos munka és a maximális termikus hatásfok közötti optimum						
1100	6,75	0,0142	0,828	135,14	22,05	676
1200	8,10	0,0126	0,826	172,41	24,74	862
1300	9,58	0,0113	0,823	212,77	27,14	1064
1400	11,20	0,0102	0,821	256,04	29,30	1280
1500	12,95	0,0092	0,818	302,02	31,25	1510
1600	14,83	0,0085	0,816	350,58	33,03	1753
1700	16,84	0,0078	0,813	401,60	34,65	2008
1800	18,95	0,0072	0,810	455,00	36,14	2275
A maximális fajlagos termikus hatásfokhoz tartozó értékek						
1100	8,41	0,0123	0,825	127,11	22,46	636
1200	10,44	0,0107	0,822	161,08	25,24	805
1300	12,75	0,0093	0,819	197,60	27,74	988
1400	15,34	0,0083	0,815	236,50	30,00	1183
1500	18,21	0,0074	0,811	277,66	32,04	1388
1600	21,36	0,0067	0,807	320,94	33,90	1605
1700	24,76	0,0061	0,803	366,31	35,61	1832
1800	28,42	0,0055	0,799	413,71	37,17	2069

1. táblázat 5 kg/s levegőszállítású hajtómű várható adatai a turbina előtti gázhőmérséklet függvényében

Természetesen, mivel a hajtómű tömegárama, a kompresszor nyomásviszonya és politrópikus

hatásfoka közötti összefüggéseket vizsgáljuk, így ez utóbbi értékét előre nem került definiálásra, de megadtuk az első kompresszor fokozat (rész nélküli) politrópikus hatásfokát ($\eta_{pol0}=0,86$).

A 2. táblázat tartalmazza az 50 kg/s-os levegőfogyasztás esetében az aktuális értékeket. A fajlagos hasznos munka 132,5 kJ/kg-tól (1100 K, maximális termikus hatásfokra optimalizálva) 489,5 kJ/kg-ig (1800 K, maximális fajlagos hasznos munkára optimalizálva) terjedő értékeket vehet fel. A termikus hatásfok alsó értéke 22,69% (1100 K, fajlagos hasznos munkára optimalizálva), míg felső értéke (1800 K, maximális termikus hatásfokra optimalizálva) 40,53%. A kompresszor nyomásviszony 6,12-től 40,30-ig terjed. Természetesen a lapátmagasságok is jóval nagyobbak lesznek, még a 40,3-as kompresszor nyomásviszony esetében is az utolsó lapát magassága 0,0155 m.

szállított levegő [kg/s]	középátmérő [m]	lapátérés [m]	fedettségi tényező [-]	axiális sebesség [m/s]	első fok lap. hossz [m]	
50	0,6	0,0003	0,98	120	0,1879	
A maximális fajlagos hasznos munkához tartozó értékek						
T_3 [K]	π [-]	utolsó fok lap. hossz [m]	η_{pol} [-]	$wh_{(max)}$ [kJ/kg]	η_t [%]	P [kW]
1100	6,12	0,0556	0,851	145,41	22,69	7270
1200	7,24	0,0500	0,850	185,29	25,32	9264
1300	8,46	0,0449	0,849	228,60	27,68	11430
1400	9,79	0,0408	0,848	275,06	29,79	13753
1500	11,23	0,0371	0,848	324,52	31,72	16226
1600	12,77	0,0339	0,847	376,85	33,47	18842
1700	14,43	0,0313	0,846	431,85	35,08	21593
1800	16,19	0,0290	0,845	489,50	36,56	24475
A maximális fajlagos hasznos munka és a maximális termikus hatásfok közötti optimum						
1100	7,63	0,0482	0,850	142,66	23,84	7133
1200	9,31	0,0422	0,849	181,57	26,70	9079
1300	11,20	0,0371	0,848	223,74	29,28	11187
1400	13,31	0,0331	0,846	268,90	31,62	13445
1500	15,66	0,0297	0,845	316,94	33,74	15847
1600	18,24	0,0267	0,844	367,72	35,68	18386
1700	21,07	0,0242	0,842	421,13	37,47	21056
1800	24,12	0,0220	0,840	477,04	39,12	23852
A maximális fajlagos termikus hatásfokhoz tartozó értékek						
1100	9,91	0,0405	0,848	132,53	24,36	6626
1200	12,61	0,0344	0,847	167,20	27,36	8360
1300	15,80	0,0295	0,845	204,33	30,07	10217
1400	19,53	0,0255	0,843	243,77	32,54	12188
1500	23,82	0,0223	0,841	285,38	34,80	14269
1600	28,71	0,0196	0,838	329,06	36,87	16453
1700	34,20	0,0174	0,835	374,70	38,77	18735
1800	40,30	0,0155	0,833	422,42	40,53	21121

2. táblázat 50 kg/s levegőszállítású hajtómű várható adatai a turbina előtti gázhőmérséklet függvényében

Ilyen tengelyteljesítményekre (13–18 MW, 1300–1500 K-es átlagosnak tekinthető turbina előtti gázhőmérséklet mellett) nincs szükség helikopterek esetében, de ez nem azt jelenti, hogy ilyen kategóriájú vagy ennél is erősebb „turbohaft” hajtóműveket nem építenek ipari gázturbinaként, vagy kisebb hajók erőforrásaként. Példa erre a GE LM 2500-s hajtóműve (4. ábra),

amelynek tengelyteljesítménye ~24 MW.

Az 1. és a 2. táblázatokat összehasonlítva láthatjuk, hogy a kisebb méretű hajtóművek méretük révén hátrányban vannak nagyobb méretű társaikkal szemben fajlagos mutatóik tekintetében. 30 kg/s feletti levegőfogyasztás esetén a különbség nem jelentős. Ez alatt azonban minél kisebb lesz a hajtómű levegőfogyasztása, annál jelentősebben befolyásolja (rontja) a hajtómű fajlagos jellemzőit.



4. ábra Két GE LM 2500-as gázturbina képezi a fenti 127 m hosszú US Partiőrség hajójának erőforrását [4]

ÖSSZEGZÉS

A teljesítmény adatokból jól látható, hogy a helikopter gázturbinák is jelentős fejlődésen mentek keresztül. A magasabb kompresszor nyomásviszonnyal és turbina előtti gázhőmérséklettel, a FADEC⁷ rendszerrel jelentősen javultak ezeknek a hajtóműveknek a fajlagos és hatásfok mutatói. Ezek a pozitív változások mégis kisebbek, mint az egyéb kategóriákban elért eredmények. Ennek az oka, hogy ezek a hajtóművek viszonylag kisméretűek. Egy helikopter gázturbina 250–3500 kW tengelyteljesítményt szolgáltat 2–15 kg/s levegőszállítás mellett. Kompresszoruk kicsi, rövid lapátmagasságokat eredményezve, különösen a hátsó fokozatokban (esetleg utolsó centrifugál fokozattal). Ez jelentősen csökkenti a kompresszor politrópikus hatásfokát. Ezt tovább erősíti, hogy a tervezők a fajlagos hasznos munka növelésével igyekeztek csökkenteni a hajtómű tömegét és geometriai méreteit. Ez a kettősség erősen bünteti a helikopter hajtóműveket, különösen az alsó teljesítmény osztályban, ahol egyébként is kicsik a geometriai méretek. Mivel a nyomásviszony növelése tovább csökkenti a politrópikus hatásfokot, ezeknél a hajtóműveknél a kompresszor nyomásviszony általában nem haladja meg a ~15-ös értéket. A viszonylag alacsony nyomásviszony és kompresszor politrópikus hatásfok miatt az elérhető termikus hatásfok általában nem több mint 35%, míg a nagyobb méretű gázturbinák (a tömegáram 30 kg/s felett) a termikus hatásfok általában magasabb, mint 40%. Jó példa erre az LM2500-as „turbohaft” hajtómű, amelynek hatásfoka ugyan nem éri el a 40%-ot, de 36%-os termikus hatásfoka jelentősen magasabb, mint a legjobb hatásfokkal rendelkező helikopter gázturbináé.

⁷ FADEC rendszer: Full Authority Digital Engine Control (teljes hatáskörű digitális hajtómű szabályzó rendszer).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] LAWICKI Dave: Jet Fuel Characteristics, Boeing, 2002, e-doc, url: <http://www.docstoc.com/docs/7654823/JET-FUEL-FACTS> , (2013.07.05.)
- [2] VARGA Béla: Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére, PhD értekezés, Budapest, 2013, http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2013/varga_bela.pdf
- [3] DR. PÁSZTOR Endre: Szállító repülőgépek gázturbinás hajtóművei nyomásviszonya növelésének termikus problémái, 2007, Repüléstudományi Közlemények, p. 36-45.
- [4] GE Delivers LM2500 Gas Turbines to Austal USA, e-doc, url: <http://www.marinelink.com/news/delivers-turbines-austal348871.aspx>, (2013.03.15.)
- [5] Engine Manufacturers, Helicopter Annual, 2009, p. 57–63

Tuba Zoltán¹

PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖK (UAV-K) ÉS A LÁTÁSTÁVOLSÁG EGYES KÉRDÉSEI²

Jelen cikk alapvető célja, hogy a pilóta nélküli repülő eszközök és azok alkalmazási területeinek történeti előzményeit összefoglalóan bemutatva rávilágítson azon meteorológiai elemek és jelenségek jelenlétére, amelyek számottevően befolyásolhatják az UAV-okat feladataik végrehajtásában. Kiemelten kezelve azon paramétereket, amelyek nem csak a pilóta nélküli repülőeszköz közvetlen üzemeltetését gátolják, hanem azzal párhuzamosan az egyes speciális feladatok végrehajtását akadályozzák meg. Az így szóba jöhető meteorológiai elemek közül talán a legfontosabb a látástávolság, amely a pilóta nélküli repülőeszközök leggyakrabban végrehajtott felderítési, megfigyelési, monitoring feladatait – az alacsony felhőalag mellett – a legnagyobb mértékben képes korlátozni. Ez a kulcsszerep az, ami kiemelten ráirányítja a figyelmet a látástávolság előrejelzésének fontosságára az UAV műveletek meteorológiai támogatása során. A látástávolság előrejelzése azonban a jelenleg ismert alpmódszerek mindegyikénél korlátokba ütközik, ami meghatározza az előrejelzések beválását is. Ez a cikk a korlátok bemutatása mellett javaslatot tesz a statisztikus és numerikus alapú platformok összevonására, amely a korlátozások egy részét feloldja.

SELECTED QUESTIONS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) AND VISIBILITY

The fundamental goal of this paper to show the historical background of unmanned aerial vehicles and their applications, and highlight those meteorological elements and phenomena, which have key role in mission execution. Giving priority to those parameters which are not only obstructing directly the operations but parallel they are holding the special missions. Maybe the visibility is the most important of them besides the low ceiling, which frequently limits the surveillance, reconnaissance and monitoring tasks of unmanned aerial vehicles. This key role draws attention to the importance of visibility forecasts during meteorological support of UAV operations. Unfortunately the visibility forecasts have limitations at all of the basic methods and it has serious consequences in the performance of the forecasts. This paper shows these limitations and gives a recommendation to merge statistical and numerical forecast methods in order to dissolve the mentioned limitations.

BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőeszközök (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) sok más találmányhoz hasonlóan haditechnikai fejlesztések eredményeként jelentek meg először és még napjainkban is a katonai alkalmazások adják felhasználásuk döntő részét. [1] Életre keltésüket a harmadik dimenzió szabadságából adódó katonai lehetőségek támogatták, amelyek lehetővé tették, hogy – kezdetben főleg kísérleti jelleggel – tüzérségi és megfigyelési feladatokban alkalmazzák őket. Mindez a 19. század derekán kezdődött, amikor még a meteorológia tudománya igencsak gyerekcipőben járt. Ekkor még nem volt általános a kiépített földfelszíni megfigyelő hálózat és a meteorológia egyes

¹ százados, PhD hallgató, NKE, HHK KMDI, Katonai Repülő Tanszék, tubazoltan.met@gmail.com

² Lektorálta: Dr Wantuch Ferenc, Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.ferenc@nkh.gov.hu



alapelméletei sem voltak ismertek. Ezt azért fontos hangsúlyozni, mert a kísérleti jelleggel hadrendbe állított eszközök üzemeltetését legfeljebb ad hoc jellegű meteorológiai mérésekkel, megfigyelésekkel támogathatták. Ez a veszélyes feladatok végrehajtása során alig nyújtott nagyobb segítséget, mint ha a vak szerencsére bízták volna magukat az égi jelenségek terén. Nem egy alkalommal előfordult, hogy a természet erői az alkalmazók ellen fordították autonóm módon működő eszközeiket, pusztán a szélirány megváltozásának köszönhetően. [2][3] Természetesen az egyre fejlettebb és drágább repülőtechnika megjelenésével párhuzamosan a meteorológia tudományának fejlődése is folyamatos volt. Ez lehetővé tette, hogy a meteorológiai támogatás iránti növekvő igény legalább részben kielégítésre kerüljön. Magát a repülést és a hozzá kapcsolódó speciális feladatokat korlátozó vagy veszélyeztető meteorológiai paraméterek előrejelzése azonban akkor is és most is kihívás elé állította és állítja az ezzel foglalkozó szakembereket.

Ráadásul a pilóta nélküli repülőeszközök és repülőgép rendszerek elterjedésének a 20. század utolsó évtizedeiben meginduló szignifikáns növekedése [4] és az ezzel járó mennyiségi és minőségi igények gyarapodása a meteorológiai támogatás terén újabb fejlesztések megjelenését kívánja. A pilóta nélküli repülésben alkalmazott repülőeszközök fizikai karakterisztikái sok esetben jelentősen eltérnek a hagyományos repülőgépek tulajdonságaitól, ami a speciális missziók igényeivel párosulva személyre és feladatra szabott prognózisok készítését várja el a repülésmeteorológusoktól a feladatok tervezéséhez és végrehajtásához kapcsolódóan. Kiemelten nehéz ez a munka az olyan paraméterek esetében – mint például a látástávolság vagy a felhőalap, – amelyek a numerikus előrejelzési modellek outputjaiban csak származtatott mennyiségekként jelennek meg. [5] Jelen cikk célja, hogy a pilóta nélküli repülőeszközök történeti példáin szemléltetve rámutasson az egyik legfontosabb származtatott paraméter, a látástávolság előrejelzésének hangsúlyos szerepére és egyben javaslatot tegyen az előrejelzési feladatokban és azok módszertanában rejlő egyes nehézségek feloldására.

TÖRTÉNETI ELŐZMÉNYEK

Ahogy a bevezetésben is említettük, a pilóta nélküli repülőeszközök első alkalmazását a 19. század derekán említik írásos források. [6] Ezek az eszközök azonban még a kor repüléstudományának megfelelő szintű, hajtómű nélküli, a levegőnél könnyebb légi járművek voltak. A század végéig ezek a ballonos repülések, feladat végrehajtások az esetek számottevő részében a nem megfelelő időjárási körülmények miatt voltak sikertelenek. A kor légkörtudományának szintjén ugyanis erősen korlátozottak voltak a meteorológiai támogatás lehetőségei. Ennek ellenére nyilvánvalóvá vált, hogy a légköri állapotváltozások és jelenségek jelentős befolyással bírhatnak az egyes feladatok sikerére.

A pilótával ellátott merevszárnyú, hajtóművel rendelkező repülőgépek megjelenését hamarosan követték pilótánélküli társaik is, amelyek már a mai értelemben vett pilóta nélküli repülőeszközök elődeinek tekinthetők. Eleinte ezek a gépek még gyakran pilótát is szállítottak magukkal, aki szükség esetén illetve a kényesebb fel- és leszállási manővereknél beavatkozhatott. [3] A beavatkozást sok esetben a környezeti viszonyok gyorsan végbemenő változásai kényszerítették ki, amelyek az

azonnali reakció nélkül akár a repülőgép földdel való ütközését is előidézhatték. Ilyen tipikus körülmény lehetett például a felszín közeli erős szél okozta mechanikus turbulencia.

Az I. világháború idejére a pilóta nélküli repülőeszközök leendő katonai felhasználói már realizálták azok hadászati, harcászati jelentőségét. Ennek megfelelően számos hadsereg hajlandó volt tekintélyes összegeket áldozni az ezzel kapcsolatos kutatásra és fejlesztésre. [1][7] Ekkor a hagyományos, pilótával ellátott repülőgépekre alapvetően a szárazföldi csapatok támogatásában számítottak. Ez a kiegészítőnek szánt szerep abban az időszakban teljesen elfogadottnak számított, hiszen a merevszárnyú repülés történetének kezdeti időszakában voltak, amikor az egyes nemzetek hadereje még nem rendelkezett független légi haderőnemmel. A szárazföldi csapatok fennhatósága alá tartozó repülőeszközök feladatait doktrinálisan két fő csoportba: harcászati és a hadászati feladatokra osztották. A harcászati feladatokon alapvetően a szárazföldi csapatok légi megfigyelésekkel való támogatását értették. Ennek során a vizuális és a fotó felderítés valamint a tüzérségi célravezetés mellett, a támadó saját erőikkel kapcsolatos valós idejű információkat szolgáltatottak a műveleteket irányító parancsnok számára. A hadászati feladatok folyamán a „légierő” feladata a légi főlény kivívása mellett a mélységi célpontok bombákkal való támadása volt. Ez utóbbi feladatkör rendkívüli kockázatokkal járt a pilóták szempontjából, így az adott feladatra a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazása szinte adta magát. Charles Kettering egy Bug névre keresztelt repülőeszközt tervezett és fejlesztett a fenti feladat végrehajtására. [1] [7]



1. ábra A Kettering Bug életnagyságú modellje az USAF múzeumában³

Az alkalmas mennyiségű robbanóanyaggal ellátott repülőgépet ellenséges mélységi célok támadására

³ Forrás: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:KetteringAerialTorpedo.jpg>

terveztek. Az előzetesen megtervezett útvonal lerepülése után a repülőgép kamikaze módjára zuhant célpontjára. A motor leállítását egy automata számláló szerkezet idézte elő, amikor a légcsvár által tett fordulatok száma elért egy előre megadott értéket. [7] Nyilvánvaló, hogy ezzel a módszerrel precíziós találatokat nem lehetett elérni. Ebben az is fontos szerepet játszott, hogy bár a felszállás előtt mért szélirány és szélesség adatokat figyelembe vették a repülési idő tervezésénél, de a 3 dimenziós szélmezőről érdemi információkkal már nem rendelkeztek, nem is beszélve annak időbeli változékonyságról. Egy feltételezett mindössze 30 perces bevetés során, ha a nem teljesen ismert szélviszonyok miatt átlagosan 1 m/s-mal elvették a repülőgép felszínhez viszonyított sebességét, akkor ez a célpont közel 2 kilométerrel való eltévesztését eredményezte. Valós harci környezetben azonban soha nem került bevetésre, mert mire a fejlesztések a megfelelő fázisba jutottak, az I. világháború véget ért.

A két világháború közötti békeidőszak első felében a katonai érdeklődés és az ezzel járó pénzügyi támogatás csökkenésével a pilóta nélküli repülőgépekkel kapcsolatos fejlesztések is megtorpantak. Újabb lökést a terület kutatásának a rádiótechnika nagyarányú fejlődése adott az 1920-as évek végén és az 1930-as években, amikor új feladatkörben, távirányítású célrepülőgépként alkalmazták az UAV-okat. [3]

A II. világháború alatt újra az ellenséges célok támadására alkalmas pilóta nélküli repülőgépek fejlesztése került előtérbe. Talán az időszak legismertebb eszköze a német V-1 robotrepülőgép volt. Ugyan a fejlesztése már jóval a háborút megelőzően megkezdődött, de az első bevetése a normandiai partraszállásig váratott magára. Az eszköz robotpilótája a tervezett magasságot és irányt a beépített nyomásmérő és giroszkóp segítségével stabilizálta. A távolságmérőbe épített automatizmus az előre beállított távolság elérésekor tulajdonképpen zuhanó bombává „alakította” a V-1-et.



2. ábra A V-1 (Fieseler Fi 103) repülés közben⁴

⁴ Forrás: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:V-1_\(Fieseler_Fi_103\)_in_flight.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:V-1_(Fieseler_Fi_103)_in_flight.jpg)



A távolságmérő egy légcsavaros szélmérő adatai alapján mérte a levegőhöz viszonyítva megtett távolságot. A valós távolság pontos kalkulálásához tehát itt is figyelembe kellett venni a repülési útvonalon uralkodó szélviszonyokat. Ezeket a számításokat a felszállás előtt egy technikus végezte el és ő állította be a számlálót is a megfelelő értékre. A viszonylag nagy hatótávolság miatt ez nagy találati pontatlanságot eredményezett. Ez azonban nem jelentett szignifikáns problémát, hiszen nem precíziós jelleggel, hanem alapvetően területbombázásra használták. [1]

A II. világháborút követően a pilóta nélküli repülőgépek fejlesztése újra a békésebb alkalmazások irányába fordult. Elsősorban célrepülési és felderítési, megfigyelési feladatok végrehajtására tökéletesítették a kifejlesztett prototípusokat. Az amerikai szárazföldi haderőnél például az RP-71 típusú robotrepülőgéppel kezdtek kísérletekbe. Ez az eszköz képes volt rövid ideig tartó felderítési feladatok után visszatérni a kiindulási helyére. [7] Mivel egy kompakt, gyorsan és könnyen felbontható eszközzel volt szó, ezért a fedélzeten elhelyezett automata fényképezőgép által készített képekhez a parancsnokok szinte valós időben módon juthattak hozzá, ami jelentősen javíthatta a harci helyzetértékelés színvonalát. Olyan időjárási körülmények mellett is repülhetett, amikor más gépek nem szállhattak fel, így az üzemeltetését alapvetően csak a felderítési feladatokat korlátozó légköri viszonyok akadályozhatták. Ezek, ahogyan a bevezetőben már említésre került, a kis magasságon elhelyezkedő zárt felhőzetet, azaz az alacsony felhőalapot és a gyenge látástávolságot (tipikusan ködöt, füstöt, felkavart port) jelentették. Az SD típus előjelzővel ellátott továbbfejlesztett változatai repülési és egyéb karakterisztikáikban oly módon változtak, hogy a harcászati feladatok helyett alkalmasabbá váltak hadászati megfigyelési célokra. Ezt segítette fedélzeti műszerezettségük, felszerelésük fejlődése is. A hagyományos légi fotók készítése mellett az elektromágneses spektrum több különböző hullámhossz tartományában működő felderítő eszközökkel (radar, infrakamera, stb.) tudták a felderítés hatékonyságát növelni. A plusz eszközök alkalmazásának gyakran meteorológiai vonatkozásai is voltak. Egy infravörös tartományban készített kép kiértékeléséhez tisztában kellett lenni a készítés időpontjának meteorológiai és sugárzási viszonyaival, sőt érdemes volt eleve úgy tervezni a felderítési feladatot, hogy az előbb említett okok figyelembe vételével az elkészített kép megfelelően kontrasztos legyen.

Az elkövetkező időszak folyamatos fejlesztéseinek eredményeként a Vietnámi háború során sikerült először sorozatosan bevetni pilóta nélküli repülőgépeket felderítő feladatokra valós harci körülmények között. Az alkalmazott repülőeszközök a közvetlen felderítő feladatok mellett gyakran passzív zavaró műveleteket és röplapszórást is végeztek. Jelentős felderítő szerepük ellenére azonban újra egy kisebb megtorpanás következett be a fejlődésben, amely csak a 80-as években indult meg ismét. Annyi hozadéka azonban mindenképpen volt a több ezer vietnámi bevetésnek, hogy ez után minden jelentősebb fegyveres konfliktusban és a 2001 után meginduló terrorizmus elleni globális harcban is fontos szerepet játszottak a pilóta nélküli repülőgépek.

A 20. század utolsó évtizedeiben már szinte a világ minden részén fejlesztettek pilóta nélküli repülőeszközöket. Ezek elsődlegesen továbbra is célrepülési és felderítési feladatokat hajtottak végre. A légi felderítő műveleteket a 18–20 km-es magasságban végrehajtott hadászati felderítéstől kezdve, egészen a harcászati szintű, kis magasságban végrehajtott útvonal megfigyelésig kell

érteni. Ahogyan a nagyobb magasságoktól kezdve haladunk lefelé, úgy csökken a felhőzetre vonatkozó előrejelzések és ezzel ellentétesen úgy nő a látástávolság előrejelzések fontossága. Az akár szakasz szinten is megjelenő pilóta nélküli repülőeszközök növekvő száma pedig a felhasználói igények fokozott megjelenését generálja, prioritizálva ezáltal a látástávolságot és az alacsony felhőalapot, mint előrejelzendő meteorológiai paramétereket. [8]

Ettől az időszaktól kezdve a meghatározónak számító felderítő, megfigyelő szerepkörön túl, ha csak másodlagosan is, de újra fókuszba került az UAV-ok fegyverekkel való felszerelése.[9] Ma már a híradások mindennapos része egy-egy drónnal végrehajtott fegyveres művelet.



3. ábra Az MQ-9 Reaper gyakorló repülés közben ⁵

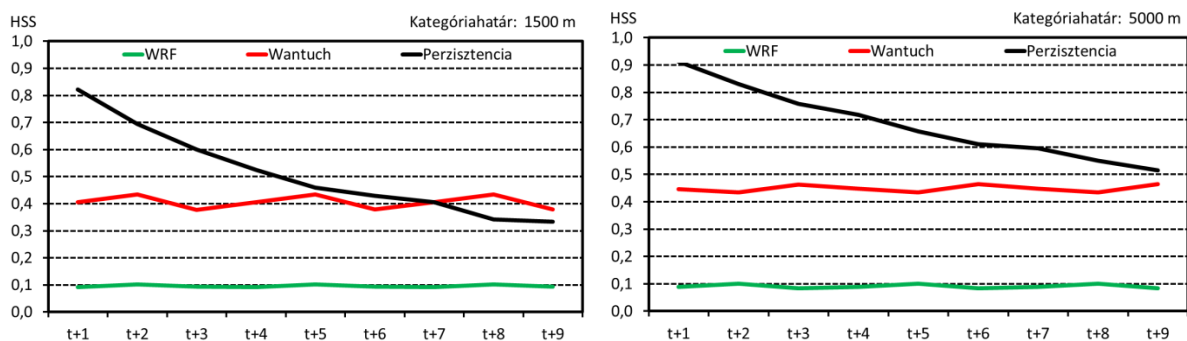
A növekvő meteorológiai támogatási igények az utóbbi években már nem csak a felhasználói műveletek tervezése és végrehajtása során, hanem a kutatási projektek alatt is megjelentek. A meteorológiai támogatás eszközrendszerének a korábbi üzemeltetési tapasztalatok alapján történő felhasználására mutat példát egy az Egyesült Államok légierije számára készült tanulmány. [9] A Predator pilóta nélküli repülőgépek második generációjának (MQ-9 Reaper) fejlesztése során figyelembe vették a tipikus jegesedési zónák magasságát és olyan hajtóművel látták el, ami a szokásos működési magasságát e szint fölé emelte. Ráadásul a fellépő jegesedési problémák elkerülése érdekében, amennyiben a meteorológiai előrejelzések szignifikáns jegesedést prognosztizálnak, a hatékony aerodinamikai profilú szárnyak a kevésbé hatékony, de a jég lerakódását akadályozó profilú szárnyakra cserélhetők.

Összefoglalva a fejezet tartalmát megállapítható, hogy a pilóta nélküli repülőgépek fejlesztését, fejlődését végigkísérték a meteorológiai vonatkozások. A repülésmeteorológiai eszközrendszer bővülésével és a támogatás minőségének növekedésével, a meteorológiai támogatás iránti igény is egyre határozottabban megjelent. Ma már általánosnak vehető, hogy a hagyományos repülésekhez hasonlóan nem opcióként, hanem szükségletként tekintenek a repülések meteorológiai kiszolgálására.

⁵ Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/File:MQ-9_Reaper_-_090609-F-0000M-777.JPG

Numerikus alapú előrejelzések

A modern meteorológia előrejelzései alapvetően numerikus időjárás előrejelző (Numerical Weather Prediction – NWP) modellek futtatási eredményein alapulnak. Némely ezek közül – mint például a Weather Research and Forecasting (WRF) modell, – bárki számára elérhető, valamint szabadon paraméterezhető és fejleszhető. Ez a modell, természetesen a térbeli és időbeli felbontás, valamint a korlátos előrejelzési tartomány méretének alkalmas megválasztásával, akár egy asztali számítógépen is futtatható. Emiatt kifejezetten kedvelt a kisebb költségvetésű meteorológiai kutatásokban. A későbbiekben bemutatott példák és eredmények is egy hazai fejlesztésű, korlátos tartományú WRF modell futtatási eredményeiből származnak. [10] A modell futtatási eredményei között vannak direkt módon előálló és az ezekből kalkulált származtatott produktumok. Ez utóbbiak közé tartozik a látástávolság is. A látástávolság előrejelzett értékének előállítására számos módon történhet: a relatív nedvesség, a relatív nedvesség és a harmatpont deficit, a felhőben található víz és jégtartalom valamint azok extinkciós együtthatóinak, vagy akár az eddig felsoroltak kombinációjának, stb. felhasználásával. [11] A modell fejlesztőinek döntésén múlik, hogy melyik beépített sémát használják, amelyet akár tetszés szerint tovább is fejleszhetnek. Ennek ellenére ennél a nyers kimenetnél lényegesen jobb beválási eredményeket lehet elérni utófeldolgozó eljárásokkal. Az összehasonlítás érdekében Wantuch [12] döntési fa alapú utófeldolgozó eljárását alkalmaztuk. A 4. ábrán a nyers és az utófeldolgozással kapott látástávolság értékek a Szolnoki katonai repülőtéren (LHSN) észlelt látástávolság adatok (2013.07.10–12.31.) felhasználásával kerültek verifikálásra a jelzett 9 órás előrejelzési időtartományra. A verifikációs eredményeket a Heidke skill score (HSS) [13] segítségével szemléltetjük a feltüntetett előrejelzési kategóriahatár használatával. A HSS értéke 0 abban az esetben, ha az előrejelzésnek nincs hozzáadott értéke a véletlen előrejelzéshez képest és 1 abban az esetben, amikor tökéletes az előrejelzés. Az ábrán feltüntetésre került az ún. perzisztencia előrejelzés is, amely úgy áll elő, hogy a kiindulási időpontban észlelt látástávolság értékeket fogadjuk el prognózisként a teljes előrejelzési időtartományra.



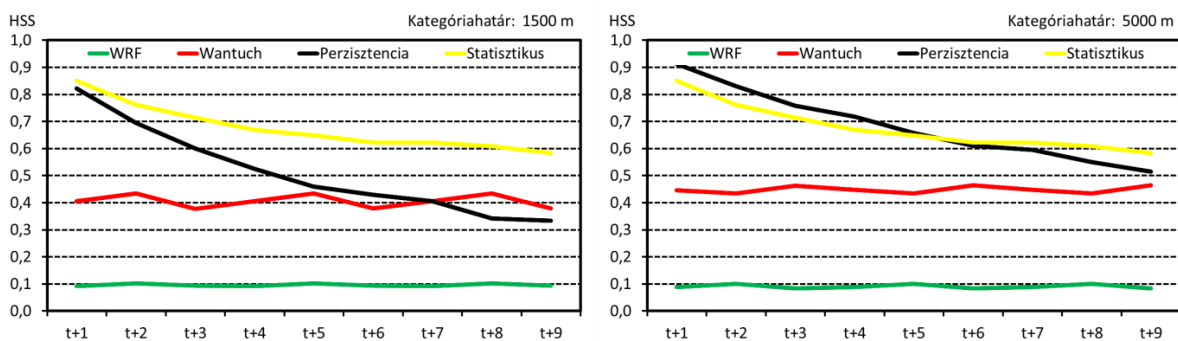
4. ábra Az egyes módszerek látástávolság előrejelzésének beválása a megadott kategóriahatárok mellett

A 4. ábrán jól látható, hogy az utófeldolgozó eljárás jelentősen javította a modell eredményeit a nyers látástávolság kimenethez képest a teljes időszakra vonatkozóan. Ugyanakkor a kilenc órás

periódusban csak a gyengébb látásértékek prognózisa esetén nyújt a perzisztencia előrejelzést meghaladó beválást, nyilvánvalóan azt is az időszak végén. A beválás viszont stabil, a HSS értéke időben közel állandó, ami egyértelműen az előnyei közé sorolható. További előnye még a numerikus alapú előrejelzéseknek, hogy a modell domain földrajzi tartományán belül nincsenek területei korlátai, a prognózisok mindenhol előállíthatók. Az előrejelzések verifikációját azonban csak olyan helyekre lehet elvégezni, ahol a megfelelő észlelési adatok előállnak. A numerikus modell futtatását viszonylag ritkán (általában 6–24 óránként, esetünkben 12 óránként) végzik. A futtatás által lekötött időt is figyelembe véve egy adott időpontban esetenként jóval korábbról származó futtatási eredmények állnak csak rendelkezésre. Ha a modell előrejelzése sikertelen, akkor a prognózis korrekciójára csak a következő futtatás eredményei alapján van lehetőség, ami esetünkben akár 12 órát meghaladó késedelmet is szenvedhet.

Statisztikus alapú előrejelzések

A vizsgálatunk tárgyát képező statisztikai eljárásokon alapuló előrejelzések valamilyen hasonlósági metrika alkalmazásával támogatott analógiás előrejelző módszert alkalmaznak. Ennek a módszernek helyenként már komoly nemzetközi hagyományai is vannak [14], de már hazánkban is megkezdődött adaptációja és fejlesztése. [15][16] A módszer célja, hogy a repülés-klimatológiai adatbázisok információit objektív tapasztalatként, prognosztikai céllal hasznosítsa. Lényege, hogy egy arra alkalmas repülés-klimatológiai adatbázisban az aktuális időjárási szituációhoz megkeresi a leghasonlóbb helyzeteket. A kiválasztott eseteket követő időszakok adatainak segítségével pedig előállítja a kívánt előrejelzési periódus meghatározott paramétereinek prognosztizált értékét. Nyilvánvaló, hogy a modell alapvetően a klimatikus adatokban megjelenő tipikus változások (pl.: látástávolság, köd feloszlásának napi menete) előrejelzésére alkalmas a leginkább és kevésbé működik az olyan szituációkban, amikor dinamikus változások alakítják az időjárást (pl.: markáns hidegbetörés következtében megszűnő köd). Az 5. ábra az előző alfejezetben már bemutatott ábrát kiegészítve szemlélteti a statisztikus modell eredményeit.



5. ábra Az egyes módszerek látástávolság előrejelzésének beválása a megadott kategóriahatárok mellett

A statisztikus modell eredményei az előrejelzési időszak egészében jelentősen meghaladják a numerikus produktumok HSS értékeit. Ez a különbség különösen számottevő a 9 órás periódus első



felében, azaz ultrarövid távon. Az időben csökkenő értékek, a modell statisztikus mivoltára vezethetők vissza, hiszen a prognózisokban megjelenő változások nem fizikailag modellezett dinamikus hatások eredményeként, hanem a kezdeti időjárási szituáció hasonlósága okán jelentkeznek. A modell hátrányaként említhetjük a futtatáshoz szükséges repülésklimatológiai adatbázist, amely jelentősen korlátozza a modell területi alkalmazhatóságát. Másrészt viszont meg kell említenünk, hogy az egyes repülőterekre vonatkozó előrejelző rendszer csak és kizárólag ebben az adatbázisban tér el egymástól, azaz a szükséges adathalmaz birtokában bármikor adaptálható akár műveleti területre is. Kiemelt előnye a statisztikus modellnek, hogy sikertelen előrejelzés esetén a legrosszabb esetben is alig több mint fél óra múlva lehetőség van a prognózis korrekciójára. Ez nagyban segíti az alkalmazhatóságát a repülésmeteorológiai támogatás során.

Esettanulmány

Az egyes alapszabványok előnyeinek és hátrányainak mérlegelésével, megfogalmazódott a kérdés, hogy a látástávolság prognózisa során az egyes módszerek korlátai kiküszöbölhetőek-e oly módon, hogy az adott repülőterre vonatkozó jobban teljesítő statisztikus előrejelzésből folyamatos legyen az átmenet a középtávon stabil HSS értékeket nyújtó utófeldolgozott numerikus produktumba. Ugyanis, ha ez megvalósítható, akkor egy olyan hibrid előrejelzés állítható elő, amely az előrejelzés sikertelensége esetén rövid időn belül korrigálható, hosszabb távon pedig megőrzi a numerikus modell azon előnyét, hogy képes a dinamikus változások előrejelzésére. A hibrid modell előrejelzése a statisztikus és a numerikus előrejelzések egyszerű lineáris kombinációjaként áll elő:

$$\text{Látástávolság}_{\text{HIBRID}} = a \cdot \text{Látástávolság}_{\text{STATISZTIKUS}} + b \cdot \text{Látástávolság}_{\text{NUMERIKUS}}$$

$$\text{ahol } a + b = 1 \text{ valamint } a \text{ és } b \in [0; 1].$$

Feltételként szabtuk meg egyrészt, hogy a súlyoknak időben és adott értéket elérve monoton csökkenőnek kell lenniük, hogy biztosítsák a fokozatos átmenetet a két módszer között. Másrészt a kezdeti időpontban észlelt valamint az arra előrejelzett numerikus modellből származó látástávolság értékeket 5 értékkategóriába soroltuk, majd a kategória különbséget egyszerű kivonással meghatároztuk. Ez a súlyozás további finomítását szolgálta, mégpedig oly módon, hogy a kis kategóriakülönbségektől a nagyobbak felé haladva monoton csökkenőnek kell lennie a numerikus modell súlyának. Ez azt a célt szolgálja, hogy a numerikus modell esetleges kezdeti pontatlanságát a statisztikus modell nagyobb súlya korrigálja. A fentiek alapján egy súlymátrix áll elő, aminek a sorai a kategória különbségeket, oszlopai pedig az előrejelzés időlépcsőit reprezentálják. A súlymátrix egy adott formájára az 1. táblázat nyújt példát. Nyilvánvaló, hogy az előrejelzés készítésénél használt súlyokat arra alkalmas verifikációs paraméterek segítségével megfelelő optimalizációs eljárással kell véglegesíteni. Mindehhez a repülésklimatológiai adatbázis két független részre kell osztani és az optimalizálást valamint a verifikációt a különálló adatsorokon kell elvégezni. Reményeink szerint ez a művelet alátámasztja azon feltevésünket, amelyet a fentiekben korábban megfogalmaztunk.

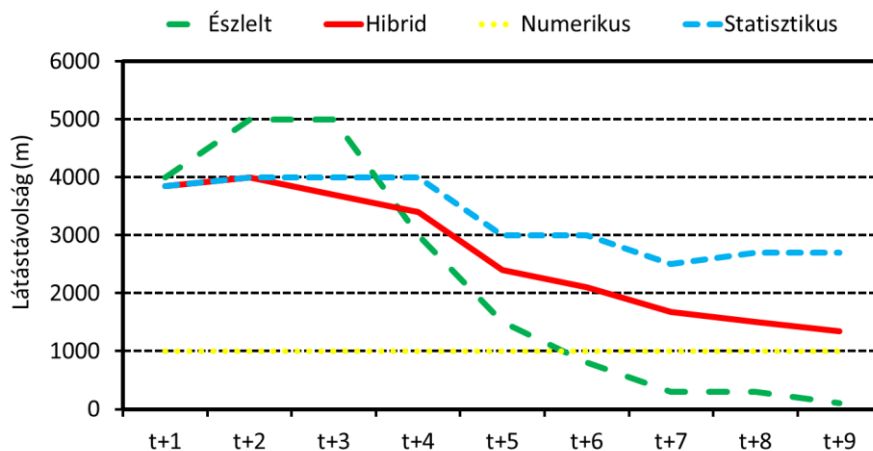
		t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6	t+7	t+8	t+9
Kategoriakülönbség	-4	1	1	1	0,9	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2
	-3	1	1	0,9	0,8	0,7	0,55	0,45	0,3	0,2
	-2	1	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,25	0,15
	-1	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,45	0,35	0,2	0,1
	0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
	1	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,45	0,35	0,2	0,1
	2	1	0,9	0,85	0,75	0,65	0,5	0,4	0,25	0,15
	3	1	1	0,9	0,8	0,7	0,55	0,45	0,3	0,2
	4	1	1	1	0,9	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2

1. táblázat A megszabott feltételeknek megfelelő súlymátrix egy lehetséges alakja a statisztikus modell súlyaira

Az 1. táblázatban felhasznált súlyok segítségével az alábbiakban egy esettanulmányon keresztül mutatjuk meg, hogy a hibrid modell hogyan tud javítani a látástávolság előrejelzésén.

2013. december 23-án hazánk időjárását alapvetően anticiklonális hatások jellemezték, több felé egész nap párás, ködös volt a levegő, de helyenként a nap is kisütött. Az országtól északra elhaladó érintő hidegfront és annak felhőzete elsősorban csak az északi területeken volt hatással az időjárás alakulására. Szolnokon az éjszakai órákban szinte végig 1200 m körüli alappal rendelkező, zárt felhőzet volt jelen, emiatt a látástávolság december 23-án a hajnali órákban is csak 3-4 km-re csökkent. A zárt felhőzet aztán napközben a javulásnak sem kedvezett az észlelt maximális látástávolság 6 km volt. A kora esti órákban aztán ideiglenesen felszakadozó felhőzet miatt a látástávolság rohamos csökkenésnek indult és végül 21UTC-re tartós sűrű köd alakult ki.

A vázolt szituációból az esti romlás prognózisa érdekes számunkra, így a 15UTC-kor induló 9 órás előrejelzési periódus képezi vizsgálatunk tárgyát. A numerikus előrejelzés adatai a 12UTC-s modellfuttatásból, a statisztikus modell prognózisa pedig a 14:45UTC-kor elkészült és az azt megelőző jelentő táviratok adataiból származnak. A szituáció szándékosan olyan helyzetet dolgoz fel, amikor a numerikus modell előrejelzése már a kezdődőpontban jelentősen eltér a valós, észlelt adatoktól. Az egyes modellfuttatások eredményeit a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra Az észlelt és az egyes módszerek által előrejelzett látástávolság értékek



A numerikus modell előrejelzésében stabilan megjelenő 1000 m-es látástávolság 1000 m-es vagy annál kisebb értékeket jelöl, pusztán az utófeldolgozó eljárás módszertana miatt nincs lehetőség az 1 km alatti értékek pontosabb megjelenítésére. Az ábrán látható, hogy – amint a fentiekben említettük, – a numerikus modell alaposan elvétette az előrejelzést már a vizsgált periódus elejétől. A felhőzet felszakadásából származó dinamikus változásokat pedig a statisztikus modell nem tudta lekövetni az előrejelzési időtartomány második felében. Ebben a szituációban a látástávolság dinamikusabb romlását a három vizsgált modell közül a hibrid követte le a legjobban.

A tervezett súlyoptimalizálás és a verifikáció reményeink szerint megerősíti a hibrid modell használhatóságát, ami a fokozatos átmenetet biztosíthatja a numerikus és statisztikus modellek prognózisai között. Lehetőséget biztosítva ezzel a jobb látástávolság előrejelzések használatához a meteorológiai támogatás során.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk a pilóta nélküli repülő eszközök történeti előzményeinek példáján keresztül irányította rá a figyelmet a tárgyalt repülőgépek meteorológiai támogatásának fontosságára. Hangsúlyosan kiemelve a jelenkor általános feladatait korlátozni képes látástávolság szerepét. Mivel a látástávolság előrejelzése ma is kihívás a repülésmeteorológiában dolgozó szakembereknek, ezért összefoglaló jelleggel bemutatásra kerültek a látás prognózisának alapvető módszertani megközelítései. A bemutatott modelleknek megvannak a maguk előnyei és hátrányai. A cikk utolsó részében egy esettanulmányon keresztül mutattuk meg, hogy az alap módszerek kombinálásával a látástávolság előrejelzése tovább fejleszthető.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PALIK MÁTYÁS (szerk.) Pilóta nélküli repülés profioknak és amatőröknek, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2013, ISBN: 978 963 08 6923 2
- [2] ZALOGA, STEVEN J. Unmanned aerial vehicles: robotic air warfare 1917-2007, Osprey Publishing, 2008, ISBN: 978 1 84603 243 1
- [3] WERRELL, KENNETH The evolution of the cruise missile, Air University Press, Maxwell AFB, Alabama, 1985, <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a162646.pdf>
- [4] GERTLER, J. U.S. Unmanned Aerial Systems, Congressional Research Service, January 3, 2012, <https://www.fas.org/sgp/crs/natsec/R42136.pdf>
- [5] JACOBS, A. J. M. – MAAT N. Numerical guidance methods for decision support in aviation meteorological forecasting, *Weather and Forecasting*, 20, 82–100, 2005
- [6] MONASH UNIVERSITY Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html
- [7] BLOM, JOHN DAVID Unmanned Aerial Systems: a historical perspective, Combat Studies Institut Press, Fort Leavenworth, Kansas, 2010, ISBN 978 0 9823283 0 9
- [8] JONES, A. CHRISTOPHER Unmanned aerial vehicles (UAVs) an assessment of historical operations and future possibilities, Research Department Air Command and Staff College, USAF, 1997, <https://www.fas.org/irp/program/collect/docs/97-0230D.pdf>
- [9] DREW, J. G. – SHAVER, R. – LYNCH, K. F. – AMOUZEGAR, M. A. – SNYDER, D.: Unmanned aerial vehicle end-to-end support considerations, Rand Corporation, US Air Force, 2005



-
- [10] GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ – KARDOS PÉTER – KURUNCZI RITA BOTTYÁN ZSOLT Development of a Complex Dynamical Modeling System for the Meteorological Support of Unmanned Aerial Operation in Hungary
- [11] CHEOL-HAN BANG – JI-WOO LEE – SONG-YOU HONG Predictability Experiments of Fog and Visibility in Local Airports over Korea using the WRF Model, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 24., 2008
- [12] WANTUCH FERENC Visibility and fog forecasting based on decision tree method, Időjárás, 105, 2001
- [13] BLANKERT, RICHARD L. – HADJIMICHAEL, MICHAEL Data mining numerical model output for single-station cloud-ceiling forecast algorithms, Weather and Forecasting, 25, 2007
- [14] HANSEN, B. K. A Fuzzy Logic–Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather and Forecasting, Vol. 22, 1319–1330., 2007
- [15] BOTTYÁN ZSOLT – WANTUCH FERENC – TUBA ZOLTÁN – HADOBÁCS KATALIN – JÁMBOR KRISZTIÁN Creation of a new climatic database for aviation meteorological support system of unmanned aerial vehicles (in Hungarian), Repüléstudományi Közlemények 24, (3), 11-18., 2012
- [16] TUBA ZOLTÁN – VIDNYÁNSZKY ZOLTÁN – BOTTYÁN ZSOLT – WANTUCH FERENC – HADOBÁCS KATALIN Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in fuzzy logic-based meteorological support system of unmanned aerial vehicles, AARMS, Vol. 12. 2., 2013

Kovács Zoltán¹

REPÜLŐTÉRI LÉTESÍTMÉNYEK FIZIKAI VÉDELME IED² ELLEN³

Az improvizált robbanószerkezetek (IED) elleni védekezés témakörének aktualitása napjainkban megkérdőjelezhetetlen, hiszen a robbantásos (terror) cselekmények szinte mindennaposá váltak a világban. A korszerű eszközökkel megvalósított hatékony védekezés, az arra történő felkészülés vagy még inkább a lehetséges megelőzés pedig mindannyiunk közös érdeke. A kritikus infrastruktúra elemei – pl. a polgári és a katonai repülőterek és létesítményeik – különösen veszélyeztetettnek számítanak. A szerző ezt a területet vizsgálva bemutat egy, az ilyen létesítmények improvizált robbanóeszközök elleni fizikai védelmére alkalmazható technikai megoldást.

PHYSICAL PROTECTION OF AIRFIELD FACILITIES 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. 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 a novel solution that may be useful to protect airfield facilities against improvised explosive devices.

BEVEZETÉS

Az improvizált robbanóeszközök (IED) 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. Alkalmazásuk célja személyek, járművek vagy létesítmények rongálása, megsemmisítése, a figyelemfelkeltés és a lélektani hatás kiváltása. A szerkezetekhez használhatnak katonai vagy polgári célból gyártott robbanóanyagokat, esetenként házilag elkészített robbanóanyagot, elegyet.

Az IED lehet mobil telepítésű, mint például egy mozgó járműben elrejtett bomba, illetve helyhez kötött, mint például egy út mentén elrejtett tűzérési 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.

IED ELLENI VÉDELEM

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. A polgári és a katonai repülőterek, illetve repülőgépek ezért a robbantások kiemelt célpontjai lehetnek.

¹ alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, kovacs.zoltan@uni-nke.hu


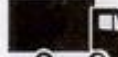

² Az angol Improvised Explosive Device kifejezés rövidítése

³ Lektorálta: Prof. Dr. Lukács László egyetemi tanár, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

A robbanóeszközök elleni sikeres és hatékony védekezés két alapvető eleme a megfelelő rendszabályok, eljárások bevezetése (megközelítés, parkolás, átvizsgálás, stb.), illetve olyan eszközök és anyagok alkalmazása, melyek kellő fizikai segítséget biztosítanak az IED repülő-térre történő bejuttatásának megakadályozáshoz vagy a bekövetkezett robbanás okozta károk csökkentéséhez. Az egyik ilyen eszközcsalád lehet az alábbiakban bemutatásra kerülő DEFENCELL Force Protection System.

Védelem a mobil IED ellen

Statikus célpontok ellen (pl. egy repülőter, tábor, épület, létesítmény, stb.), amikor nagyobb tömegű robbanóanyag szükséges a romboláshoz, valamilyen járműben elrejtett IED-t alkalmaznak (VBIED⁴), és igyekeznek vele a lehető legideálisabb közelségbe kerülni vagy bejutatni azt a célként kiválasztott objektum területére. Attól függően, hogy milyen jellegű a létesítmény szerkezete, mennyire közelíthető meg és mekkora károkat terveznek okozni, különböző típusú és nagyságú járműveket használhatnak, melyek mérete behatárolja a robbanóanyag tömegét, ezzel egyetemben a veszteségokozás rádiuszát.

ATF	VEHICLE DESCRIPTION	MAXIMUM EXPLOSIVES CAPACITY	LETHAL AIR BLAST RANGE	MINIMUM EVACUATION DISTANCE	FALLING GLASS HAZARD
	COMPACT SEDAN	500 Pounds 227 Kilos <i>(In Trunk)</i>	100 Feet 30 Meters	1,500 Feet 457 Meters	1,250 Feet 381 Meters
	FULL SIZE SEDAN	1,000 Pounds 455 Kilos <i>(In Trunk)</i>	125 Feet 38 Meters	1,750 Feet 534 Meters	1,750 Feet 534 Meters
	PASSENGER VAN OR CARGO VAN	4,000 Pounds 1,818 Kilos	200 Feet 61 Meters	2,750 Feet 838 Meters	2,750 Feet 838 Meters
	SMALL BOX VAN <i>(14 FT BOX)</i>	10,000 Pounds 4,545 Kilos	300 Feet 91 Meters	3,750 Feet 1,143 Meters	3,750 Feet 1,143 Meters
	BOX VAN OR WATER/FUEL TRUCK	30,000 Pounds 13,636 Kilos	450 Feet 137 Meters	6,500 Feet 1,982 Meters	6,500 Feet 1,982 Meters
	SEMI-TRAILER	60,000 Pounds 27,273 Kilos	600 Feet 183 Meters	7,000 Feet 2,134 Meters	7,000 Feet 2,134 Meters

1. ábra Különböző járművekben elhelyezhető IED és hatásai [1]

Leggyakrabban személygépkocsit vagy kisteherautót alkalmaznak VBIED-ként, melyben többszáz kilogrammnyi tömegű robbanóanyag rejthető el. A robbanószerkezet lehet időzített, valamint parancsindítású, ami szinte kizárólag vezeték nélküli rádióvezérléssel történik vagy öngyilkos merénylő által indítva (SVBIED).⁵ Előbbi esetekben a járművet a célpont közelében hagyják, majd a beállított időpontban vagy a kiadott rádiójelre robban az eszköz, míg az utóbbi esetén a merénylő vezeti a járművet és közelíti meg a célpontot, majd különböző kapcsolók segítségével elműködteti a robbanóeszközt.

A járművek mozgásának és a repülőter megközelítésének szabályozására alkalmazni kell a

⁴ Az angol Vehicle Born IED kifejezés rövidítése.

⁵ Az angol Suicide Vehicle Born IED kifejezés rövidítése.

megfelelő védelmi berendezéseket, amelyekkel kontrollálható a járművek sebessége, haladása. Ilyen berendezések lehetnek a forgalomlassító közlekedési folyosóban elhelyezett ún. fekvőrendőrök, a különböző típusú tüskés útzárak, az útpályából kiemelkedő oszlopok, a sorompók, illetve a katonai repülőterek esetében a HESCO bástyák. [2], [3], [4] Erre a célra alkalmazhatók a DEFENCELL eszközcsalád elemei is. Természetesen fel kell készülni arra az eshetőségre is, hogy a robbanószerkezetet mégis sikerül bejuttatni a repülőtér területére. A fontosabb létesítményeket és a repülőeszközöket ezért fizikailag is óvni kell a robbantás okozta káros hatásoktól (léglökés, repeszek).



2. ábra Repülőtér fizikai védelme különböző DEFENCELL elemekkel [5]

A DEFENCELL rendszer elemei és jellemzői

A DEFENCELL Force Protection System eszközcsaládba 7 különböző méretű elem tartozik, melyekkel tetszőleges nagyságú védőfalat lehet létrehozni. Az egyes elemek főbb adatait az alábbi táblázat tartalmazza.

Típus	Töltési magasság (m)	Teljes szélesség (m)	Legkisebb szélesség (m)	Hosszúság (m)	Tömeg (kg)
LITE	0,50	0,70	0,63	3,20	3,60
RANGER	0,50	0,70	0,63	1,30	1,60
M1	0,60	1,00	0,98	4,94	9,60
DT1	0,50	0,70	0,63	4,90	4,10
T2	0,50	1,35	1,10	4,90	7,50
T3	0,50	1,90	1,65	4,90	10,00
T4	0,50	2,50	2,25	4,90	13,00

1. táblázat DEFENCELL elemek méretei [5]

A RANGER rendkívül könnyű (1,6 kg tömegű), kézi erővel kevesebb, mint 10 perc alatt megtölthető annyi szemcsés anyaggal, mely 40 db homokzsákhoz szükséges.

RANGER	Készlet	Raklapon	ISO-20 konténerben
Mennyiség (db)	1	90	1 800
Tömeg (kg)	1,60	174	3 480
Töltési térfogat (m ³)	0,47	42	840
Homokzsák-egyenérték (db)	40	3 600	72 000

2. táblázat A RANGER DEFENCELL elem főbb adatai [5]



Egyetlen „LITE” típusnevű (Lightweight Individual Tactical Emplacement) elemből 3,2 m hosszú, 0,7 m vastag és 0,6 m magas védőfal hozható létre, melyet homokzsákból készítve kb. 100 db zsákra lenne szükség. Megtölthető homokkal, talajjal vagy kisméretű közúzálékkal is. Magasabb védőfal kialakításához a készletek három rétegben egymásra, illetve a védőképesség fokozása érdekében több sorban is egymás mellé helyezhetők. Hatékony megoldás lehet tüzelőállások, technikai eszközök védelmére, valamint úttorlaszok, ellenőrző-áteresztő pontok (EÁP) forgalom terelőelemeinek készítéséhez. A feltöltés meggyorsítása érdekében telepítő keret is alkalmazható. A speciális méhsejt-szerkezete miatt a töltőanyag gyorsan eltávolítható, a készlet visszatelepíthető és később újra felhasználható.

LITE	Készlet	Raklapon	ISO-20 konténerben
Mennyiség (db)	1	40	800
Tömeg (kg)	3,60	190	3 800
Töltési térfogat (m ³)	1,35	54	1 080
Építhető védőfal hossza (m) (0,60 m magas)	3,20	128	2 560
Építhető védőfal hossza (m) (1,10 m magas)	-	64	1 280
Építhető védőfal hossza (m) (1,60 m magas)	-	42	840
Homokzsák-egyenérték (db)	100	4 000	80 000

3. táblázat A LITE DEFENCELL elem főbb adatai [5]

Az M1 típusú elem a LITE-hoz hasonló, de annál nagyobb, amely 1 méteres vastagsága révén már megfelelő védelmet képes nyújtani a különböző robbanások hatásai és akár a 20 mm-es lövedékek találatai ellen.

M1	Készlet	Raklapon	ISO-20 konténerben
Mennyiség (db)	1	10	240
Tömeg (kg)	9,60	161	3 220
Töltési térfogat (m ³)	3,45	41	828
Építhető védőfal hossza (m) (0,60 m magas)	4,90	59	1 176
Építhető védőfal hossza (m) (1,10 m magas)	-	30	600
Építhető védőfal hossza (m) (1,60 m magas)	-	20	400
Homokzsák-egyenérték (db)	310	3 720	74 400

4. táblázat Az M1 DEFENCELL elem főbb adatai [5]

A DT1 típusú elem is könnyen szállítható, az üres készlet annyi helyet foglal el, mint egy megtöltött homokzsák.

Egy készletből 4,9 m hosszú, 0,7 m vastag és 0,6 m magas védőfal hozható létre, melyet homokzsákból készítve kb. 160 db zsákra lenne szükség. A DT1 megtölthető homokkal, talajjal vagy kisméretű közúzálékkal is. Magasabb védőfal kialakításához a készletek egymásra, illetve a védőképesség fokozása érdekében több sorban is egymás mellé helyezhetők.

Ideális megoldás lehet tüzelőállások, megfigyelőpontok vagy akár sátrak, épületek védelmére, valamint úttorlaszok, EÁP forgalom terelőelemeinek készítéséhez. Mivel fém- és műanyag részeket nem tartalmaz, másodlagos repeszhatás sem keletkezik. A végrehajtott tesztek alapján a DT1 hatékony védelmet nyújt a lőfegyverek (14,5 mm), aknavetők közvetlen találata ellen. Szemcsés anyaggal történő megtöltés gyorsabbá és hatékonyabbá tételéhez telepítő keret is rendelkezésre áll.



DT1	Készlet	Raklapon	ISO-20 konténerben
Mennyiség (db)	1	80	1 600
Tömeg (kg)	4,10	355	7 100
Töltési térfogat (m ³)	2,05	164	3 280
Építhető védőfal hossza (m) (0,60 m magas)	4,90	392	7 840
Építhető védőfal hossza (m) (1,10 m magas)	-	196	3 920
Építhető védőfal hossza (m) (1,60 m magas)	-	130	2 610
Homokzsák-egyenérték (db)	160	12 800	256 000

5. táblázat A DT1 DEFENCELL elem főbb adatai [5]

A T2 készlet cellái két sorban helyezkednek el és így 1,10 m vastag védőfalat képeznek. A készlet tömege mindössze 7 kg, telepítve 4,9 m hosszúságú, 0,6 m magasságú. Nagyobb szükséges falmagasság esetén a készletek egymásra, vagy a nagyobb méretű T3, T4 készletekre is ráhelyezhetők. Védőképessége és fizikai paraméterei miatt hatékonyan alkalmazható tüzelőállások, üzemanyag-, vagy víztárolók, figyelőpontok, illetve épületek védelmére. Kézi erővel és géppel egyaránt feltölthető.

T2	Készlet	Raklapon	ISO-20 konténerben
Mennyiség (db)	1	24	480
Tömeg (kg)	7,50	220	4 400
Töltési térfogat (m ³)	3,30	79	1 589
Építhető védőfal hossza (m) (0,60 m magas)	4,90	117	2 352
Építhető védőfal hossza (m) (1,10 m magas)	-	60	1 176
Építhető védőfal hossza (m) (1,60 m magas)	-	39	784
Építhető védőfal hossza (m) (2,10 m magas)	-	29	588
Homokzsák-egyenérték (db)	300	7 200	144 000

6. táblázat A T2 DEFENCELL elem főbb adatai [5]

A T3 készlet cellái már három sorban helyezkednek el, ezért még vastagabb védőfal hozható létre egy készletből is.

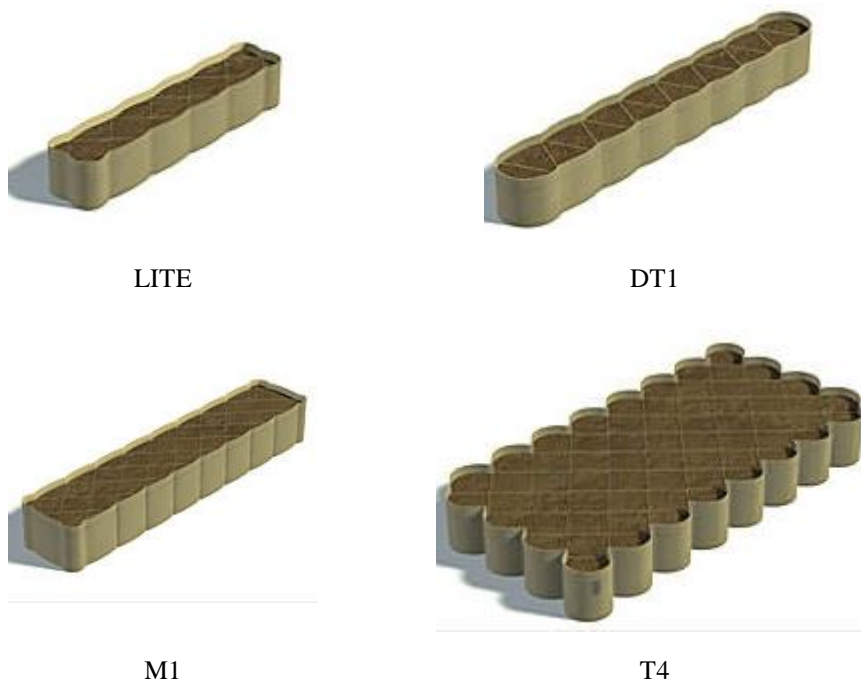
T3	Készlet	Raklapon	ISO-20 konténerben
Mennyiség (db)	1	18	360
Tömeg (kg)	10	210	4 200
Töltési térfogat (m ³)	4,70	84	1 678
Építhető védőfal hossza (m) (0,60 m magas)	4,90	88	1 764
Építhető védőfal hossza (m) (1,10 m magas)	-	44	882
Építhető védőfal hossza (m) (1,60 m magas)	-	29	588
Építhető védőfal hossza (m) (2,10 m magas)	-	22	441
Homokzsák-egyenérték (db)	450	8 100	162 000

7. táblázat A T3 DEFENCELL elem főbb adatai [5]

A készlet tömege mindössze 9 kg, telepítve 4,9 m hosszúságú, 0,6 m magasságú. Nagyobb szükséges falmagasság esetén a készletek egymásra, vagy a nagyobb méretű T4 készletekre is ráhelyezhetők. A végrehajtott tesztek alapján a T3 hatékony védelmet nyújt a lőfegyverek (20,0 mm), közepes aknavetők közvetlen találata ellen is. A feltöltés meggyorsítása érdekében telepítő keret is alkalmazható, a készlet kézi erővel és géppel egyaránt feltölthető.

A T4 készlet cellái négy sorban helyezkednek el, 2,25 m vastag védőfalat képeznek. A készlet tömege mindössze 12 kg, telepítve 4,9 m hosszúságú, 0,6 m magasságú. Nagyobb szükséges

falmagasság esetén a készletek egymásra négy sorban (2,10 m magasságig) ráhelyezhetők.



3. ábra Különböző DEFENCELL elemek [5]

T4	Készlet	Raklapon	ISO-20 konténerben
Mennyiség (db)	1	12	240
Tömeg (kg)	13	185	3 700
Töltési térfogat (m ³)	6,13	73	1 471
Építhető védőfal hossza (m) (0,60 m magas)	4,90	59	1 176
Építhető védőfal hossza (m) (1,10 m magas)	-	29	588
Építhető védőfal hossza (m) (1,60 m magas)	-	19	392
Építhető védőfal hossza (m) (2,10 m magas)	-	15	294
Homokzsák-egyenérték (db)	600	7 200	144 000

8. táblázat A T4 DEFENCELL elem főbb adatai [5]

A T4 hatékony védelmet nyújt a lőfegyverek (25,0 mm), aknavetők közvetlen találata, illetve a járműre szerelt improvizált robbanószerkezetek (VBIED) ellen is. A feltöltés meggyorsítása érdekében telepítő keret is alkalmazható, a készlet kézi erővel és géppel egyaránt feltölthető.



4. ábra DEFENCELL elemek tesztelése járművekkel [5]



A DEFECCELL eszközcsalád kibővült a már említett HESCO-eszközhöz hasonló MAC® gabionokkal, melyek 10 különböző méretben állnak rendelkezésre.

Típus	Magasság (m)	Szélesség (m)	Hosszúság (m)	Töltőtér fogat (m ³)
MAC 1	1,37	1,06	10,00	20,00
MAC 2	0,61	0,61	1,22	0,50
MAC 3	1,00	1,00	10,00	11,00
MAC 4	1,00	1,50	10,00	19,00
MAC 5	0,61	0,61	3,05	1,60
MAC 6	1,68	0,61	3,05	4,00
MAC 7	2,21	2,13	27,74	180,00
MAC 8	1,37	1,22	10,00	22,00
MAC 9	1,00	0,76	9,14	9,00
MAC 10	2,21	1,52	30,50	140,00

9. táblázat A MAC® gabionok főbb adatai [5]

A gabionok STANAG 2280 által előírt védelmi követelményeknek történő megfelelését igen szigorú tesztekkel vizsgálták. [6] A gabionok szerkezeti felépítése hasonló a HESCO-hoz, összecsukszó fémrácszat biztosítja a merevséget, a geotextília bélés pedig a töltőanyagként használható homok, talaj vagy kisméretű kőzúzalék kifolyását akadályozza meg.

ÖSSZEGZÉS

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.

Az IED elleni védelem vizsgálata és tervezése során külön kell választani a stacioner és a mozgó célpontok védelmének kérdését, hiszen az előbbi a speciális eljárások, rendszabályok bevezetése mellett igényli a különleges technikai megoldások és anyagok alkalmazását is.

A létesítmények IED elleni fizikai védelmére hatékonyan alkalmazhatók a típusonként eltérő védőképességgel rendelkező fentebb bemutatott eszközök, melyek könnyen és szinte bármilyen formációban telepíthetők, visszatelepíthetők.



5. ábra A MAC® gabion elemek tesztelése robbantásra [5]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Vehicle Born Improvised Explosive Device – VBIED, ATF CAR BOMB TABLE
url:http://www.nationalhomelandsecurityknowledgebase.com/Research/Internatinal_Articles/VBIED_Terrorist_Weapon_of_Choice.html (2012.06.11.)
- [2] Szabó Sándor, Tóth Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről I. Műszaki Katonai Közlöny XIX.:(1-4.) pp. 253-278. (2010)
- [3] Szabó Sándor, Tóth Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről II. Műszaki Katonai Közlöny XX.:(1-4) pp. 97-118. (2011)
- [4] Szabó Sándor, Kovács Tibor: Új HESCO építmények, Műszaki Katonai Közlöny Online XXII.:(2.) pp. 37-52. (2012) url: <http://www.hhk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/pdfanyagok2012szeptember/2012.2szam%20ossz.pdf> (2013.10.11.)
- [5] Sz.n.: DEFENCELL Expeditionary Force Protection, British Defence Equipment Catalogue, 2010.
- [6] STANAG 2280 - Design Threat Levels and Handover Procedures for Temporary Protective Structures, NATO Standardization Agency (NSA), December 2008.

Borján József¹ – Óvári Gyula²

KATONAI REPÜLŐGÉPEK AZ I. VILÁGHÁBORÚBAN³

Pontosan 100 éve tört ki az első világháború. Erre emlékezve, az alábbiakban áttekintjük e hadiesemény során alkalmazott néhány fontosabb katonai repülőgép létrejöttének körülményeit, azok szerkezeti kialakítását, harcszati-műszaki jellemzőit. A kapcsolódó prezentációk többségét internetes hivatkozásokkal adjuk közzé, ezért a cikk olvasásához online internet kapcsolatra is szükség van. A Wright testvérek 1903. dec. 14. én végrehajtott első repülése után alig több mint egy évtizeddel, a világháború kezdetekor, az abban résztvevő nagyhatalmak több száz, különböző típusú és rendeltetésű repülőgéppel rendelkeztek, melyek száma a háború során sok ezer darabra növekedett. E légijárművek teljesítménye ezekben az években ugrásszerű megnövekedett, minőségük számottevően fejlődött. A megszállott aviatikusok magánerejű kísérleteit hadiipari fejlesztés és gyártás váltotta fel.

MILITARY AIRCRAFT IN WORLD WAR I

World War I broke out exactly 100 years ago. In commemoration of the event an overview is given below on how some of the most important military aircraft used in the course of the event were created; an account is also given on the aircraft's structural design and performance characteristics. The majority of the related presentation is done by using web-links, so online internet connection is required when reading the article. Ten and a half years after the first flight carried out by the Wright brothers on 14 December 1903, at the beginning of World War I great powers participating in the war had had several hundreds of different types of aircraft with different missions, whose number increased to thousand pieces during the war. In those years the performance of those aerial vehicles saw a dramatic surge. Privately funded efforts of fanatic aviators were replaced by the development and manufacturing of the military industry.

BEVEZETÉS

Ebben az évben van a 100. évfordulója az első világháború kitörésének, melyre emlékezve áttekintjük a világháborúban használt katonai repülőgépeket főleg szerkezeti kialakításuk tekintetében. A Wright testvérek 1903. dec. 14. én végrehajtott első repülése után alig több mint 10 évvel, a világháború kezdetekor az abban résztvevő nagyhatalmak sok száz repülőgéppel rendelkeztek, melyek száma a háború folyamán több ezer darabra növekedett. A repülőgépek teljesítménye ezekben az években számottevően növekedett. A megszállott aviatikusok magánerejű kísérleteit a hadiipari fejlesztés és gyártás váltotta fel.

Az [1.] forrásmunka szerint Németország már 1912-ben 48, Franciaország 260, Oroszország 100, Nagy-Britannia 29, Olaszország 26, Japán 14, USA 5 db. repülőgéppel rendelkezett. Ezen kívül, ezekben az országokban a több száz magántulajdonú repülőgép is szükség esetén bevonható volt katonai célokra. Ez a repülőgép mennyiség 1914-re Németországban 232-re, Ausztria-Magyarországon 48-ra, Franciaországban 165-re, Oroszországban 263-ra, Nagy-Britanniában 63-ra, Belgiumban 16-ra szaporodott, a magántulajdonban lévők nélkül.

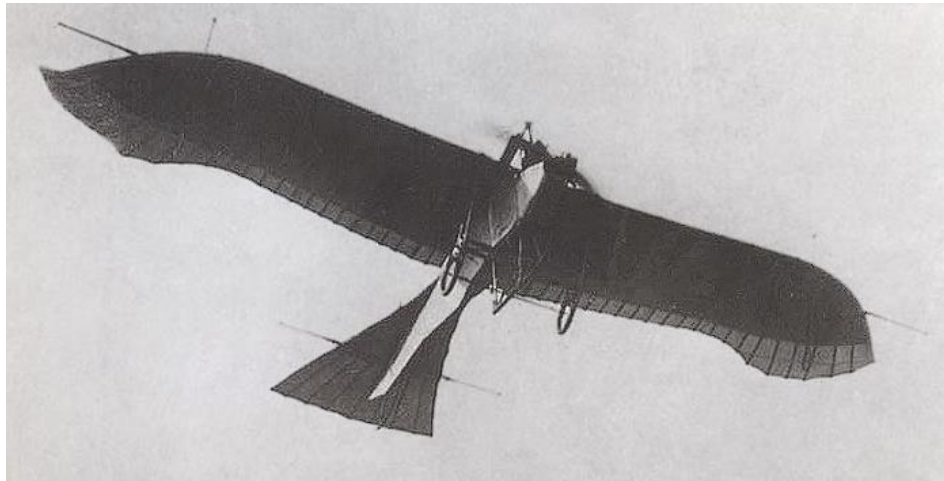
¹ Borján József dr., ny. egyetemi docens, BMGE, jborjan@gmail.com

² Óvári Gyula dr., egyetemi tanár, NKE, ovar.gyula@uni-nke.hu

³ Lektorálta: Dr. Békési László főiskolai tanár, NKE Katonai Repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

Csak ezeket a tényeket figyelembe véve is nehezen valószínűsíthető, hogy a világháború kitörését kizárólag egyetlen esemény, a Ferenc Ferdinánd elleni – mellékesen egy hadibemutatót követő - sarajevói merénylet váltotta ki. A jelek szerint, az Osztrák Magyar Monarchia vezetése már [1913-ban](#) is kész volt a háborúra.

Nem előzmény nélküli a repülőgépek hadászati kipróbálása sem. 1911-12 közötti az olasz-török háborúban Libia ellen 20 db.-ot vezényeltek légi felderítésre, de 1911 novemberében első alkalommal már bombáztak is egy [Rumpler Taube](#) típussal (1. ábra).

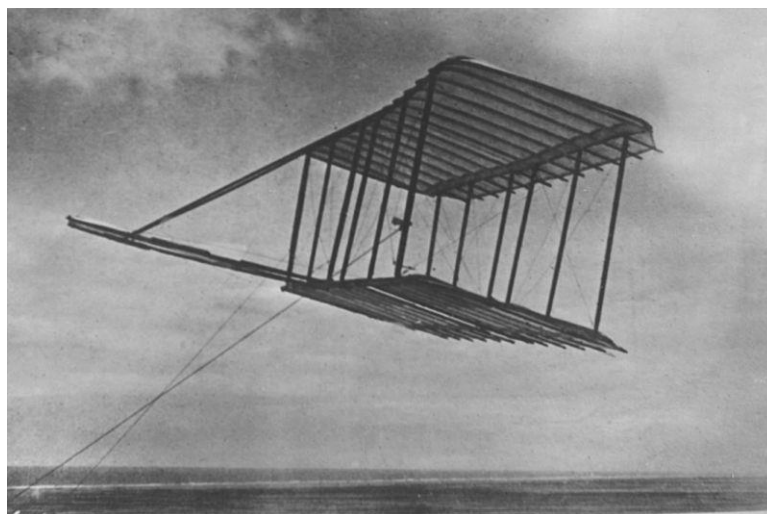


1. ábra [11]

A hadvezetések eleinte a léghajók alkalmazása mellett foglaltak állást, de a levegőnél nehezebb, aerodinamikai elven felhajtóerőt létrehozó légi járművek hamarosan kiszorították az archimedesi elven működő lomha, sebezhető aerosztatikus társaikat.

REPÜLÉS A HÁBORÚ ELŐTT

A vizsgálódást azért célszerű az 1900-as évvel kezdeni, mert a Wright fivérek által készített repülőszerkezet – amelynek konstrukciós megoldásai számos, az első világháború kezdetéig épített további légi-járművön is fellelhetőek – sem előzménymentes.



2. ábra [12]

A Wright fivérek

Wrighték a sikeres motoros repülőgépük előtt, pl. [kétfedelű siklószerkezeteket](#) is építettek hasonló módszerrel (2. ábra). A valamennyi konstrukciójukon alkalmazott dobozos sárkány szerkezet sem előzménymentes, főként Amerikában, de Európában is építettek már jóval korábban is un. dobozos sárkányt, katonai céllal is. A [3.] forrásmunka 76. ábrája (fotó) szerint, 6 db. dobozos sárkányra egy kosarat erősítve egy fő megfigyelőt emeltek fel. 1900-ban [Samuel Cody](#) is kísérletezett ilyen [szerkezettel](#) (3. ábra), később pedig repülőgépet is épített.



3. ábra [13]

Érdekes Berget Alfonz könyvében [3] az a megfogalmazás is, mely szerint: „az aeroplán valójában oly sárkány, amely maga csinálja a szelet, a zsineget motorral és csavarszárnnyal helyettesítve”. A sárkány kifejezést a mai napig használjuk a repülőgép hordozó és teherviselő elemeinek megnevezésére. Két, illetve többdobozos szerkezeteket mások is alkalmaztak, pl. [Octave Chanute](#) és Herring Maxim.

További érdekes, kapcsolódó adalékok olvashatóak Wright-ékről a [4.] forrásmunkában:

Két kitartó, gyakorlatias biciklikészítő és a repülés álma

Különös módon éppen Lilienthal halálhíre volt az, ami Wilbur Wright figyelmét a repülés felé fordította. Testvérével, Orville-el együtt egy biciklikészítő- és javító műhelyt tartottak fenn Daytonban, Ohio államban. Ebben a műhelyben építették kísérleti gépeiket, és ez a vállalkozás biztosította az anyagi hátteret a kísérletezéshez. Tanulással kezdték. 1900-ban Wilbur segítséget kért Octave Chanute-tól, aki a Mérnökök Nyugati Társaságának elnöke, maga is neves aviatikus



volt. Chanute valójában továbbfejlesztette Lilienthal vitorlázógépét, és a fivérek az ő konstrukciójából indultak ki (582 718 és 834 658 sz. USA szabadalmak). Felfegyverkezve Chanute tanácsaival és az általa javasolt szakirodalommal, nekiláttak a munkának (Wright 1901).

Elődeikkel ellentétben lemondtak arról a törekvésről, hogy a gép – geometriájánál fogva – saját magát stabilizálja, és arra törekedtek, hogy konstrukciójuk minél kezelhetőbben reagáljon a széllekedésekre. A korrekciókat a kétfedelűgép alsó szárny síkjában fekvő pilóta hajtotta végre, részben a szárnyak előtt elhelyezett vízszintes vezérsík, mint magassági kormány mozgásával, részben testének áthelyezésével. Utóbbival azonban nem egyszerűen a gép súlypontját változtatta, mint Lilienthal, hanem egy kötélzet segítségével megcsavarta a szárnyakat. Ennek a megoldásnak az ötlete Wilbur fejében egy hasáb alakú, két végén nyitott papírdoboz csavargatása során született meg. Képzeletében a doboz vízszintesen párhuzamos oldalai szárnyakká változtak, és felismerte, hogy megtalálta a keresett megoldást arra a problémára: hogyan lehetne a szárnyak különböző szakaszain különböző felhajtóerőt létrehozni. A csavarás következtében az egyik szárnyvég kisebb szöveget zár be az áramló levegőhöz képest („előrebillen” és lefelé mozdul el) a másik nagyobbat („hátrabilen” és felfelé mozdul el). Az elv, hogy a gép hossz tengely körüli, orsózómozgását így kell szabályozni, azonos a mai csűrőlapos megoldással, a kivitelezés azonban különbözik attól (Greguss 1985, Refermat 1903).

Tehát, Wright-ék is tanulták a tartószerkezet kialakítását.

Kiválóan vették észre a megosztott szárny szerkezeti előnyét. Az 1900-as évek elején a mérnöki tudomány már kiváló földi szerkezetek alkotására volt képes. 1903-ban adták át a forgalomnak a világ akkori legnagyobb szabad nyílású lánchídját, a budapesti Erzsébet hidat. A merevítő tartója rácsos szerkezet volt, csak úgy, mint a világ számos rácsos hídjá, de ott a létrehozott szerkezet kis tömegnek, mint konstrukciós elvárásnak természetesen nem jutott akkora szerep, mint a repülőgépek esetében.

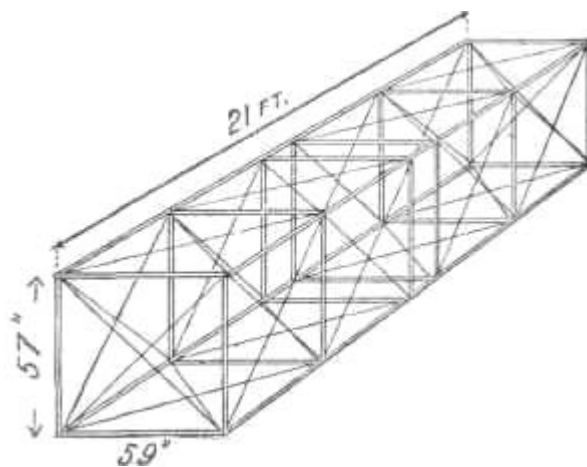
A két, egymás feletti szárnyat összekötő rudakkal és átlós huzalmerevítéssel kapcsolták össze (v.ö. 2. ábra). Repüléskor és a földön való mozgáskor a szárnyakra ható légerők azt hajlítják, melyet a rácsos tartók az övrúdjai húzás és nyomás formájában vesznek fel. Az anyag belső ellenállása tart egyensúlyt a külső terhelésből származó hajlító nyomatékkal. Ezért minél nagyobb a két öv távolsága, annál kisebb az igénybevitelük. (Néhány centiméter vastag fa, gerinclemezt alkalmazva a szárny akár önsúlya alatt is eltörhetne!).

Az ilyen lerendezésű tartóban az anyag nincs kihasználva, mert a tartó szélső szálaiban kimerül a teherbírás. A belső erők karja pedig a tartó magasságának $2/3$ -a, azaz néhány centiméter. Ha a felhajtóerőt biztosító szárnyfelületet ketté osztjuk, a két felet egymás fölé helyezük (biplan elrendezés), merev rudakkal összekötjük azokat és átlós huzalmerevítéseket alkalmazunk, az erőjáték módosul. Repülés közben a felső tartó teljes keresztmetszetében nyomófeszültség ébred, míg az alsóban húzó, a nyomaték karja pedig centiméteres helyett akár méteres nagyságú lehet. Az egymást keresztező ("andráskereszt") huzalokban ébredő húzóerők egyaránt biztosítják a szerkezet merevségét repülés közben, illetve a talajon való mozgáskor. (Hidaknál a merev rácsrudak mind a nyomó, mind a húzó erők felvételére alkalmasak.)

Wrighték elrendezésében tehát az osztott szárnyfelület sokáig követendő szerkezeti megoldás-

nak bizonyult. Gond volt a szárnyszerkezet keresztmetszeti szelvénye (profilja) is. Aerodinamikai szempontból vékonynak, íveltnek és könnyűnek kellett lennie. Két-két főtartóra rögzítették a bordaként szolgáló hajlított léceket. A szárnyak síkjában elhelyezett keresztező huzalmerítés hosszirányban biztosította a két főtartó együttműködését. Utóbbiak, a bordák, az összekötő rudak és a merevítő huzalok egy olyan térbeli rácsszerkezetként működtek, melyek az előforduló terheléseket rendkívül kis saját tömeg mellett voltak képesek felvenni.

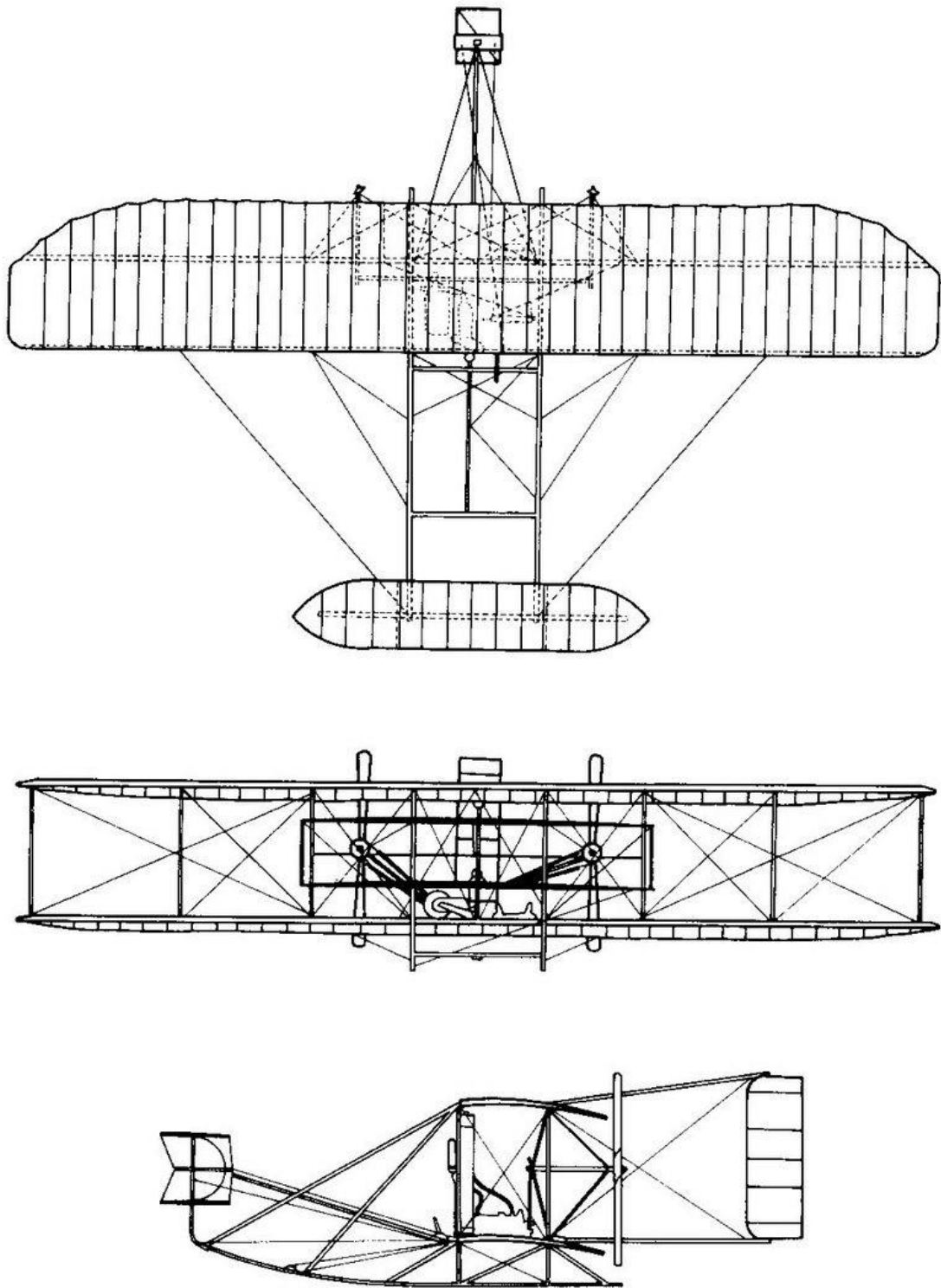
Ugyanakkor a szárnyvégek rugalmasan deformálhatóak voltak, huzallal történő elcsavarásuk csűrőhatást (hossztengely körüli elfordulást) biztosított, ami a légijármű útirányú (un. legyező-) kormányozhatóságát is segítette. (Ma ezeket a feladatokat elforduló csűrőlapokkal oldják meg.) A repülőgép kétfedelű (biplan) szárnyelrendezés alapvető szerkezeti [vázát](#) a 4. ábra mutatja, illetve látható (vásznonbevonat nélkül) ebben a [videóban](#)



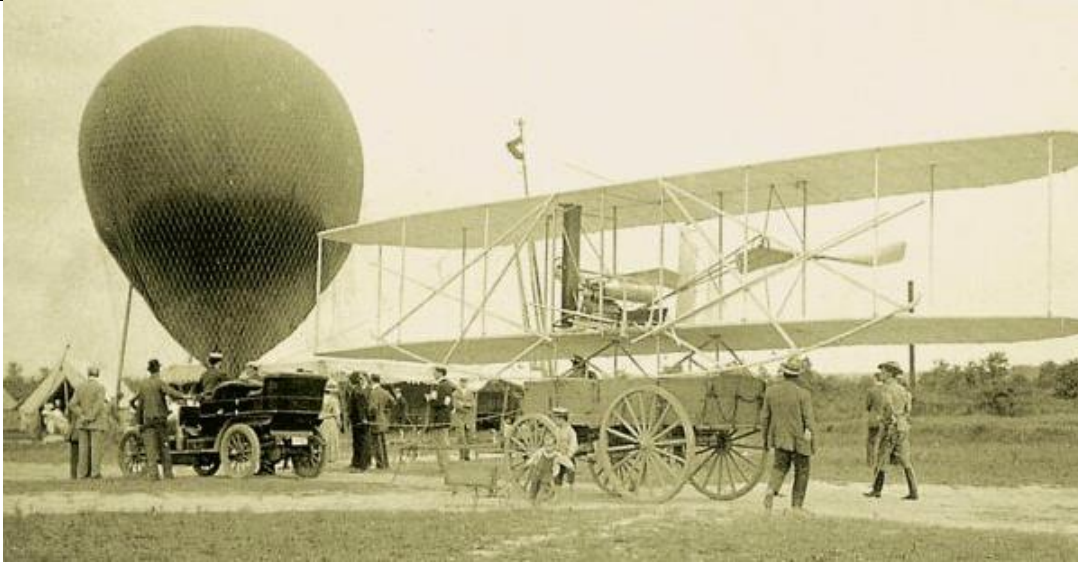
4. ábra [14]

A mai értelemben vett törzse nem is volt a repülőgépeknek. A pilóta az alsó szárnyon hasalt. Mellette a négyhengeres motor, mely két, ellentétesen forgó toló légsavart hajtott, kerékpárlánccal. A légsavartengelyeket 2-2 összekötő függőleges rácsrúdhoz rögzítették. A kettős függőleges vezérsíkot a szárny mögött négy merevített lécc tartotta. A vízszintes vezérsíkok elöl voltak (kacsza elrendezés), ugyancsak huzalmerevítésű lécekre szerelve. Le-/felszálló berendezésként csúszótalpakat alkalmaztak. A startot egy szabadeséssel lezuhanó, súllyal működtetett katapult segítette (5. ábra).

A Wright repülőgép [szerkezetét](#) bemutató képek, valamint eredeti felvételek [Wright repüléséről](#) a magyar [Wikipédiában](#) is megtalálhatóak. Wrighték ezt a szerkezetet a későbbi motoros változatoknál is megtartották, még az 1909-ben épített katonai változatnál is (6. ábra). (Az [összes Wright típus](#) együtt is megtekinthető!).



5. ábra [15]



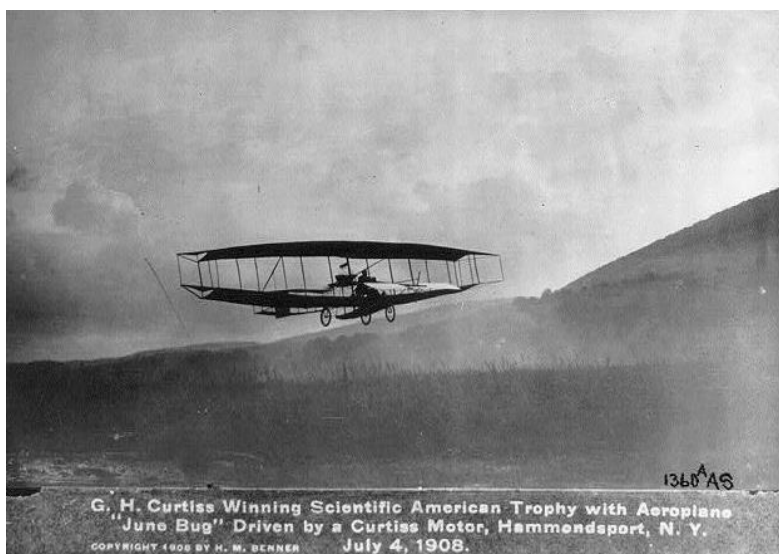
6. ábra A Wright repülőgépe katonai szállítás közben [16]

Más konstrukciók

Wright testvéreknek több követője is akadt, részben módosítva a szerkezeteket.

- Glenn Curtis

A [2.] forrásmunka szerint [Glen Curtiss](#) 1908-ban kapcsolódott a kutatásba. Gépének [restaurálási](#) anyagából részletesen megismerhetjük az alkalmazott szerkezeti elemeket. Egyik [kép](#) tanúsága szerint a "[Red Wing](#)" elnevezésű gépen (1908) az egymás felett elhelyezkedő szárnyak végei közeledtek egymáshoz. Tartószerkezeti szempontból ez is megfelelő volt, mert ott a kisebb övmagassággal is felvehető az ébredő nyomatékok. A pilóta, ülő helyzetben vezette a gépet. A szárnyvégekre [háromszögű felületeket](#) szereltek. Wright csűrési szabadalma helyett, vízszintes irányfelületeket előre és hátra is építettek. A toló légcsavaras repülőgép már kerek futóműveket is kapott.



7. ábra [17]

Az 1908-as „June Bug” (7. ábra) alapján épített [No. 1. "Golden Bug"](#) 1909-ben készült el. A



szárnyak egymás felett, egyenlő hosszú függőleges tartokkal voltak összekötve. A [csűrészhez](#) a két szárnyfelület között kialakított, elforgatható szárnyfelületeket alkalmazták a forduló segítésére. Vízszintes vezérsík ezen a gépen elől és hátul is volt. (Ld. még [Curtiss A1](#) vízi-repülőgépet [5.] 1911-ből, ahol a szárnyfelületen kívül helyezték el a csűrőlapokat. A repülőgép hordfelületeit egy csónaktestre szerelték, [Curtiss Flugboot](#) vízi-repülőgépnek nevezve [6.] Egy 1914-es konstrukciónál egy zárt csónaktörzsrre már csak hátsó vezérsíkokat szereltek, a rövidebb alsó szárny úszótestben végződött. A baldachinon rögzített motor toló légcsavart hajtott. A csűrőlapok kialakítása már a későbbi megoldásokat idézte. Curtiss egy háromfedelű vízi-repülőgépet is épített 1909/1910-ben. [2. p. 32.]

Az alábbi – többségében korabeli archív rajzokat, filmfelvételeket feldolgozó linkeket is tartalmazó – vázlatos felsorolásból további értékes információk nyerhetők a vizsgált időszak légijárműveiről:

- Samuel Cody: [Cody sárkánya](#), gépe, valamint még egy [kép](#) és videók [1](#) [2](#) [3](#);
- Dunne: [Dunne](#) csupaszárnyú repülőgépet épített 1910-ben. [1](#) [2](#) [3](#) [4](#);

Az AH 7 1914 kétfedelű, dobozos szerkezetű, nyilazott szárnyú repülőgép, a hosszirányú stabilitást a szárnyvégek elcsavarásával biztosította. A szárnyfelületet egy hengerfelületre görbítették rá, függőleges vezérsíkok a szárnyvégekhez csatlakoztak. A rövid, rácsos törzsben helyezte el a motort, ami áttétellel két toló légcsavart hajtott meg, Futóművel is rendelkezett. 1914-ben csupaszárny hidroplánt épített. [Dunne D 5](#) 1910, valamint a Dunne D 8 1913 [7. p. 48].

Avro

Az AVRO cég egy-, két-, és három fedelű repülőgépeket is épített. A [Roe II Triplane](#) 1909 [Roe IV Triplane](#) 1911 [Avro Typ F](#) 1912 (7. hiv. 41. p.) [Avro Typ E](#) 1912 [Avro Typeo G](#) 1912 Különösen ismert volt az [Avro 504](#) 1913 [7. p. 83]

RAF

(Royal AirForce) [BE 2a](#) 1913, [SE 4](#) 1914

Bristol

[Bristol Boxkite](#) 1911. Még 1911-ben is az eredeti Wright koncepciót követik, elől hátul is van vízszintes vezérsík, a tolólégcsavar és csúszótalp mellett már megjelenik a kerékpárkerék is. Bristol [Scout](#) kétfedelű 1914 (7. hiv. 56 p) ugyancsak figyelemreméltó megoldású.

Short

[Short fivérek](#) gyárában a háború előtt és alatt többféle szerkezeti megoldású repülő-gépeket építettek. Short No 3 1910 [Short S 27](#) 1910 Short Triple Twin 1911 Short Folder 1914

Sopwith

[BAT BOAT](#) 1913 és [HANDLEY PAGE 1913](#)

Összefoglalva megállapítható, hogy 1914-ig az USA és Nagy Britannia fejlesztői együttműködtek. Sok repülőgépet mindkét országban, párhuzamosan építettek. Szerkezetileg először a kétfedelűeket részesítették előnyben, majd - feltehetően európai hatásra - a háború kezdetére



egyfedelűeket is építettek. Az akkori fő építőanyag a fa volt vászonborítással és huzalmerevítésekkel.

A háború kitöréséig a legjelentősebb fejlesztéseket a franciák folytatták, egyaránt építettek két- és egyfedelűeket. Henri Fabre 1910-ben kacsá elrendezésű vízi-repülőgépet szerkesztett. Ezen kívül:

- [VOISIN](#) dobozos teherviselő hordfelületekkel, gondolával és kacsá elrendezésű vízszintes kormányfelülettel sok konstruktőrnek szolgált mintául;
- [FARMAN](#) korai gépeire szintén a dobozos kialakítású szárny teherviselő rendszer, a gondola, és a vezérsíkokat tartó rácsos törzs volt jellemző;
- 1913-ban SIKORSKI [Ilja Muromece](#) is készen állt a bevetésre;
- sok konstruktőr készített egyfedelű repülőgépeket. Legismertebb [BLERIOT](#) munkássága, de [SANTOS DUMONT](#), [FOKKER](#), [ETRICH](#), [HANDLEY PAGE LATHAM](#), [HANRIOT](#), [VICKERS](#), [DEPERDUSSIN](#), [NIEUPORT](#) monoplanjai jelezték, hogy a jövő mégiscsak az egyfedelűeké, ahol a vékony szárnyszelvények merevségét [külső feszítő-huzalokkal](#) biztosították. Rendszerint a törzsön felül és alul elhelyezett baldachinokra szerelték a szárny különböző helyeire csatlakozó huzalokat.

Az egyfedelű repülőgépek sárkánykialakítása is számottevően változott. A motorgondola meghosszabbítását jelentő törzs először részben nyitott, majd teljesen burkolt lett, eleinte csak vászonnal. A háború kezdetéig azonban megjelent a rétegeslemez borítás is a katonai repülőgépek sárkányán, megnyitva az utat a héjszerkezetek felé. A JUNKERS pedig a hullámosított fémlemezzel borított acélszerkezetű repülőgépgyártás kísérleteit kezdte meg.

A felsorolt légi-járműveket több ország konstruktőrei (magyarok, lengyelek, csehek, oroszok, románok) is másolták, vagy nagyon hasonlókat építettek, jó esetben licenzét megvásárolva gyártották.

REPÜLŐGÉPEK A HÁBORÚ ALATT

Ezek a repülőgépek erősebb sárkány-szerkezettel, nagyobb teljesítményű motorokkal és gyakorlott pilótákkal képesek voltak sokféle harci feladatot ellátni. Egy, két- és háromfedelű vadászgépek és bombázók vettek részt a harci cselekményekben. Gyártásuk ipari nagyüzemekben, sorozatban történt és folyamatosan szállították a hadseregek számára. A fa mellett egyre több fém-, főleg acélcső szerkezeteket építettek. Leginkább a megnövekedett sebesség biztosította a harc értékét. A haditechnika véglegesen meghódította a 3. dimenziót.

Biplánok

- [FARMAN M.F.7](#) 1913/1;
- [Részletek: DE HAVILAND DH 1A](#) 1917, [DH 2](#) 1916, [FE 2 b](#) 1916, [HANNOVER CL III.a](#) 1918, [HALBERSTADT CL II](#) 1918, [HANSA-BRANDENBURG](#) 1916, [AVIATIC./BERG](#) 1917, [ALBATROS D II.](#) 1916, [ALBATROS](#) 1917, [S.E.5a](#) 1918, [NIEUPORT 28 and 27](#) 1917/18, [SPAD XIII](#) 1917/18, [VOISIN TYPES 8 and 10](#) 1916/18, [JUNKERS F.B.A.flying boats](#) 1915/18;
- [Képek, Kép FARMAN F.40](#);



- [Kép](#) Léctörzsű, burkolt gondolás repülőgép, [FARMAN F.50](#);
- [Kép](#) Kétmotoros zárttörzsű repülőgép.

Monoplánok

- [JUNKERS J1](#), [MORANE-SAULNIER L](#) 1914/16, MORANE-SAULNIER LA and P 1915/17, [MORANE-SAULNIER N](#) 1914/16, [NIEUPORT monoplan](#) [NIEUPORT hidroplan](#), [FOKKER E iii](#), [JUNKERS D I](#)

Háromfedelűek

- A háromfedelű repülőgépeket már nem szilárdsági szempontból készítették, hanem a manőverező-képesség, a fordulékonyság növelésére: [AVRO triplane](#), [FOKKER DR I](#), [SOPWITH TRIPLANE](#)

Bombázók

- Bár Kenneth Munson [5;6] a bombázók közé sorol néhány kisebb katonai repülőgépet is. Az alábbi felsorolásban csak a nagyméretű, kifejezetten bombázás céljára épített gépek szerepelnek: [VICKES VIMY](#), [FRIEDRICHSHAFEN G III](#), [GOTHA G.V](#), [SHORT BOMBER](#), [CAUDRON G. IV](#), [A.E.G.G.IV](#), [HANDLEY PAGE O/400](#), [BLACKBURN KANGAROO](#), [CAPRONI Ca4](#), [ZEPPELIN STAKEN R.VI](#), [SIKORSKY ILYA MOUROMETZ](#), [CURTISS H.12 FELIXSTOWE F.2 A](#)

Motorok

100 évvel ezelőtt jelent meg Berget Alfonz 1910-ben írt könyvének magyar fordítása a K.M. Természettudományi Társulat kiadásában. Benne a szerző áttekinti az aviatikában addig elért eredményeket és kitér a fejlesztés kívánalmaira is. Az alábbiakban ebből, a repüléshez használt motorokról írt részletek olvashatóak, néhány kommenttel és főleg hivatkozásokkal kiegészítve. Ez az anyag az I. Világháborúban használt repülőgépekre feltétlenül vonatkozik.

„Az aeroplán motorának könnyűnek kell lennie és csakis a robbanómotor, mely a levegő és benzingáz keverékének meggyújtásával működik, felel meg a súlycsökkentés nagyfokú követelményének. RENARD ezredes már 1884-ben kimutatta, hogy ha a motor súlya mindent beszámítva lóerőnként 5 kg-ra leszáll, a lebegés és a repülés mozgás segítségével megvalósítható. Az ezredes reménye nemcsak teljesebbé ment, hanem a valóság a reményt is túlszárnyalta, mert ma már lóerőnként 2 kg súlyú motort is állítottak elő. Az erőműi készülék dolgában tehát föl vagyunk fegyverkezve a levegő meghódítására.”

Charles Renard (1847-1905) francia hadmérnök, Krebs testvérekkel a La France nevű hadászati célú léghajót rendszeresítette.

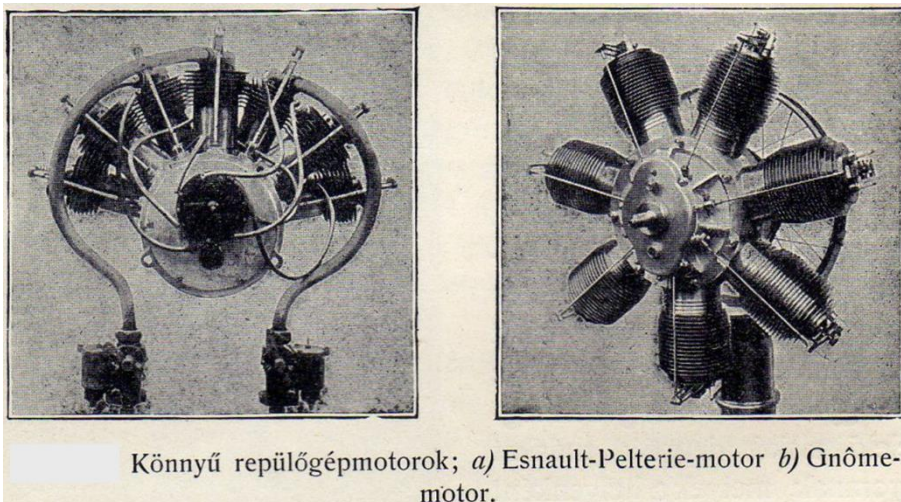
1929/30-ban, Dr. Ing. W. v. Langsdorff Fortschritte: „Der Luftfahrt” c. könyvében leírtak szerint a motorok teljesítményre vonatkoztatott fajlagos tömege többnyire 630÷680g/LE értékhatárok között volt, de a nagyobb teljesítményűeknél elérte az 1200÷1800 g/LE-t is. A mintegy 70 évvel ezelőtt gyártott, korábban már bemutatott WM-14-A típusú motor több mint 870 lóerős (648 KW) volt, tömege 618 kg, így lóerőnkénti tömege 710 g/LE volt.

„Mindazonáltal nem kell mindenáron a könnyűsége törekedni. A motornak, ha csakugyan

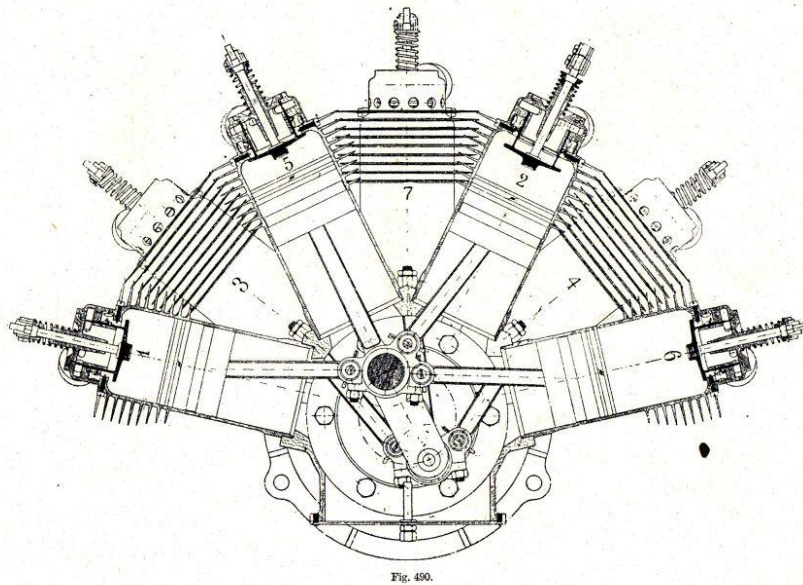
utazni akarunk vele, ellenállónak és tartósnak kell lennie. Nem szabad túlságosan felmelegednie, mi azt követeli, hogy menetközben kellően hűtsük, más szóval, hogy elegendő vizet vigyünk magunkkal, hogy a víz a nagy felszínű melegsugározótába jutva gyorsan és jól lehűthesse a felmelegedett motort; mindez növeli a szállítandó súlyt és növeli az alkalmazott motor lóerősúlyát.

Miként valósíthatjuk meg a motor szükséges könnyűségét? Két különböző módon törekedhetünk rá. Először is az anyagok megválasztásával érhetjük el a könnyűséget. Manapság szilárdság dolgában pompás acélkészítményeket ismerünk, melyekből igen vékony falú hengerek gyárthatók; például fölhozom vadászfegyvereink csövét, melyek piroxilin-por használatakor roppant nyomást bírnak ki s végükön alig egy milliméter vastagok. Van tehát olyan anyagunk, mely könnyű és ellenálló is. Második módja a súlycsökkentésnek a haszontalan alkotórészek eltávolítása; ebben a tekintetben az >Antoinette<-jelű (l. az 105. rajzot [Berger könyvéből]),

ESNAULT -PELTERIE-, RENAULT-féle és más, >repüléshez való motorok< nevezeteseek. Különösen lényeges súlycsökkentés érhető el az ESNAULT-PELTERIE- féle motorral (8. ábra), melyben több hajtókar sugáralakban elhelyezett dugattyúkat mozgatva egyetlen tengelyre hat; a szolgálattevő szerkezetek itt közösek, mert egyetlen emelőrúd biztosítja a csapok játékát.”



8. ábra [3]



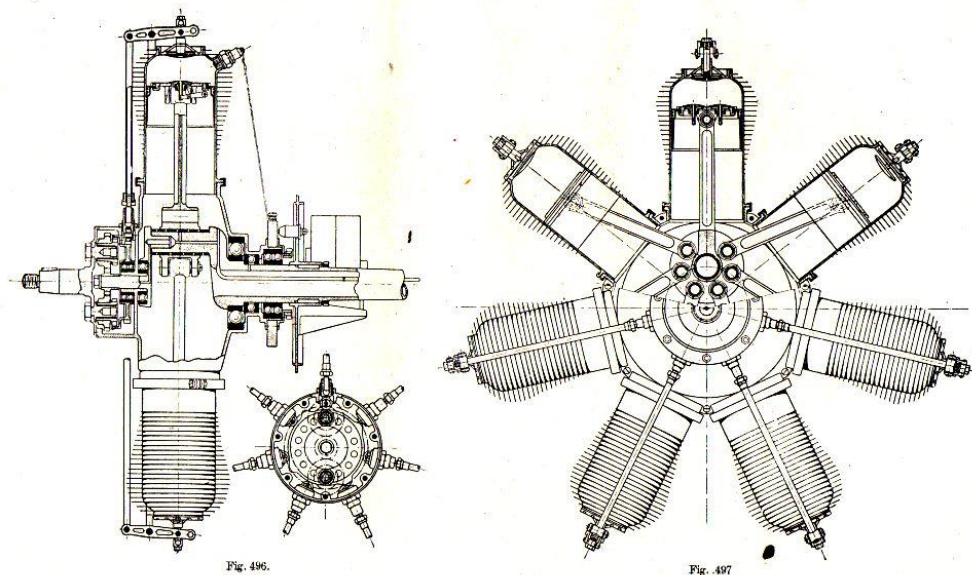
9. ábra Esnault Pelterie motor rajza Winklertől [3]

A 9. ábrán látható Esnault Pelterie motorjáról készült rajz, O. Winkler „Entwerfen von Leichten Verbrennungsmotoren, Insbesondere von Luftfahrzeugmotoren” c. könyvében található. Érdekesek a dátumok: az első kiadás előszavát 1914 márciusban írta szerző, a könyv 1919-ben jelent meg. Az első világháború idején a német szerző – bár részletes rajzokat használtak - kínosan került a motorok szerkesztőinek és gyártóinak a megnevezését.

Ismét Bergettől:

"A mozgóhengerű >Gnome-motor< (9. ábra) az újabb kísérletek alkalmával méltó hírnévre tett szert szerkezetének egyszerűsége, járásának biztonsága miatt."

Gnome forgómotor Winklertől (10. ábra /Fig. 496. és . 497/) [Animáció](#)



10. ábra [3]



Az alábbiak segítségével néhány korabeli felvétel, vagy replika startja, illetve animáció segítségével a motorok működése ismerhető meg.

- rádióirányítású repülő [modell](#) a szabadban és egy [másik](#), valamint [teremben](#);
- az eredeti Wright motor [replikája](#), az 1909-es [Wright](#) gép motorja;
- Robert [Esnault-Pelterie](#) (1881-1957), a [Wikipédiában](#) dedikált könyvét, a [L' Astronautique-t](#) 120000 Ft-ért ajánlják);
- Esnault Pelterie repülőszervezete és motorja: repülőgép [felülről](#), [alulról](#), [életrajz és képek](#).

Régiségek (videók):

- [Antik események](#) [Gnome forgómotor](#) [Le Rhone forgómotor](#);
- [Curtiss motor fa vázszerkezeten](#), [Curtiss Pusher modell D 1911 eredeti felvétel](#) [Curtiss Pusher modell D replika](#), [Csillagmotor működése](#), [Original Canuck](#) [Gnome Rhone 14 hengeres csillagmotor](#).

Wright-ék első repülőgépének vízhűtéses (v), 4 hengeres motorja saját készítésű volt. A későbbiekben többen is építettek soros- (S), V-, radiális-, vagy csillag- (R) henger-elrendezésűeket is. A múlt század elején a forgó motorokat is nagyon kedvelték könnyű hűtésük miatt. Hátrányuk volt a giroszkóp hatás, ami éppen a fordulékonyt rontotta.

Az alábbi táblázatokból, a XX. század első két évtizede repülőgépmotorjainak átlagos teljesítmény-növekedése követhető nyomon, kronológiai sorrendben.

Kibocsátás éve	Teljesítmény [LE]	Hengerek száma	Motorhűtés	Henger elrendezés
1903	12	4	víz (v)	S
1905	20	4	v	S
1907	50	8	v	V
1908	50	8	v	V
1909	30	4	v	S
1909	60	8	v	V
1909	50	7	v	R
1909	60	8	v	V
1910	50	7		R
1910	35	4	v	S
1910	45	4		B
1911	75	8	v	V
1912	120	6	v	S
1913	50	7		R
1913	50	8		R
1913	90	8	v	S
1913	80	7	f	R
1914	100	8	v	V
1914	90	8	v	V

1. táblázat 1914-ig kb. 100 Le-ig emelkedett a motorok teljesítmény



Kibocsátás éve	Teljesítmény [LE]	Hengerek száma	Motorhűtés	Henger elrendezés
1915	110	8		R
1916	100			R
1916	120			S
1916	100			R
1916	150			V
1917	100		v	S
1917	160			S
1917	175			S
1918	180			S
1918	425	12		V
1918	275			V
1918	300			V
1919	300			V
1919	230			S

2. táblázat 1919-ig 300 LE-ig nőtt a motorok teljesítménye.

Bombázó repülőgépek

Kibocsátás éve	Teljesítmény [LE]	Hengerek száma	Motorhűtés	Henger elrendezés
1916	110	8		R
1916	100			R
1916	2x80			R
1916	250			V
1916	4x150		v	V
1917	300			S
1918	2x220			V
1918	2x260			S
1918	2x260			S
1918	300			S
1918	2x360	v		V
1918	300	v		V
1918	3x270	v		
1918	3x300	v		S
1918	4x260	v		S

3. táblázat A bombázó repülőgépek motorjainak összteljesítménye az I. világháború végére elérte az 1000 LE-t.

Végezetül - az előzőekben döntően műszaki jellemzőik alapján - vizsgált néhány repülőgép autentikus alkalmazása az alábbi, korabeli archív filmek, vagy a közelmúltban, replikák alkalmazásával forgatott első világháborús légi harcokat bemutató videó segítségével (is) tanulmányozható:

- [Háború](#);
- [4 év 1](#), [4 év 2](#), [4 év 3](#), [4 év 4](#);
- [WW I Avi 1](#), [WW i Aviation 2](#), [Ww I Avi 3](#).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] OLAF GROEHLER: A légi háborúk története 1910-1970. Zrinyi Katonai Kiadó. Budapest, 1980.
- [2] GÜNTER SCHMITT: Fliegende Kisten. Transpress Berlin 1985
- [3] BERGET ALFONZ: Léghajózás és repülés. K.M. Természettudományi Társulat Budapest 1911. (Eredeti Párizs 1910.)
- [4] SVINGOR ÁDÁM: Haszon és szabadalom: az első repülőgép és a Wright-fivérek küzdelme jogaikért. JATEPress, Szeged 2005
- [5] KENNETH MUNSON: Pionierzeit Flugzeuge der Jahre 1903-1914 42. p. Orel Füssli Verlag Zürich 1969
- [6] KENNETH MUNSON: Pionierzeit Flugzeuge der Jahre 1903-1914 47. p. Orel Füssli Verlag Zürich 1969
- [7] JOHN BATCHELOR- MALCOLM V. LOWE: A repülés enciklopédiája 1848-1939. Hungarian Translation Gabo Kiadó 2005
- [8] KENNETH MUNSON: Aircraft of World War I. Ian Allan London 1967.
- [9] C.F. ANDREWS: Vickers Aircraft since 1908. Putnam London 1969.
- [10] GORDON SWANBOROUGH&PETER M. BOWERS: United States Military Aircraft since 1908. Putnam London 1963.
- [11] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Fájl:RumplerTaubeInFlight.jpg>
- [12] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wright_Glider_being_flown_as_a_kite._-1900_10457_A.S..jpg
- [13] <http://www.friendsamm.hampshire.org.uk/Cody5.jpg>
- [14] <http://chestofbooks.com/home-improvement/workshop/Handy-Man/images/General-view-of-main-frame.jpg>
- [15] http://www.wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Airplanes/Wright_Airplane_images/1905_Flyer_III/1905_Flyer_3View.jpg
- [16] http://www.wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Airplanes/Military_Flyer.htm
- [17] http://www.glennhcurtissmuseum.org/museum/flight_of_the_june_bug.html

Csutorás Gábor¹

KETTŐS HASZNOSÍTÁSÚ REPÜLŐTEREK MENTŐ TŰZVÉDELMEINEK SAJÁTOSÁGAI²

Kettős használatú repülőterek létrehozása nem először kerül napirendre hazánkban. A korábban ez irányban tett lépések az alakulat megszüntetésével, a repülőtér bezárásával végződtek. Napjainkban meg van az esély, hogy a kettős hasznosítás valósággá váljon. A mentő tűzvédelem ezeken a repülőtereken is a biztonság egyik feltétele. Megszervezése, működése meg kell, hogy feleljen mind a két hasznosítóra érvényes előírásoknak. Milyen eltérések vannak a polgári és katonai repülőtéri mentő tűzvédelem szervezete, működése között, hogyan lehetséges a különbségek eltüntetése, úgy, hogy a mentő tűzvédelem mind a két igénynek megfeleljen? Ezeknek a sajátosságoknak a vizsgálatára vállalkozik az írás.

SPECIALTIES OF FIRE FIGHTING AND RESCUE AT DUAL-PURPOSE AIRPORTS

Construction of dual-purpose airports is not something put on the agenda for the first time in Hungary. The earlier steps taken were followed by the dissolution of the unit and closure of the airport. Now there is a chance of dual-purpose becoming reality. Fire fighting and rescue at these airports is one of the security conditions. Organisation and operation should comply with the regulations for both users. What are the differences between organisation and operation of fire fighting and rescue at civil and military airports? How is it possible to get rid of these differences and to meet both requirements at the same time? These specialties are analysed in the publication.

BEVEZETÉS

Kettős hasznosítású repülőtér

A világon, így Európában is található olyan repülőterek, amelyekről egyidejűleg polgári és katonai repülőeszközök is működnek. Ezeket a repülőtereket kettős hasznosítású repülőtereknek nevezzük.

Hazánkban jelenleg nem működik kettős hasznosítású repülőtér. A nyilvános működő repülőtereink vagy polgári, vagy pedig katonai működtetésben látják el feladataikat. A Magyar Honvédség repülőeszközei béke és hadműveleti feladataikat elsősorban katonai repülőterekről, másodsorban ideiglenes leszállóhelyekről hajtják végre. Katonai repülőtereink éppen ezért jól körülhatárolható funkcióval rendelkeznek. Katonai repülőtérnek nevezzük azt a Magyar Honvédség üzemeltetésében lévő létesítményt, ahol a légi járművek le-, és felszállását, földi mozgatását, technikai kiszolgálását, a szakszemélyzet kiképzését, tevékenységét, szakmai feladatainak ellátását, az utasok (szállított anyag) kiszolgálását, ellátását biztosítják.

A polgári és a katonai repülőterek felépítése fejlődésük során egyre jobban távolodtak egymástól. Ez elsősorban a repülőtéri létesítményekben, a repülési és az azzal kapcsolatos technológiában, a repülőteret használó légi járművek speciális felépítésében, kiszolgálási igényében jelentkezett. A különbözőséget nem szükséges részletezni. Elég összevetni a polgári repü-

¹ Phd, ny. alezredes, csutorasdr@gmail.com

² Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu



lőterekre jellemző utas terminálokat, utas kiszolgálási és biztonság rendszereket, a katonai repülőtereken meglévő robbanóeszköz tárolókkal, a repülőgépeken hordozott pusztító eszközökkel, katapult rendszerekkel.

Mindezek mellett a különböző hasznosítású repülőterekben közös jellemző az ICAO szabályainak való megfelelés a repülés, kiszolgálás, biztosítás területén. A katonai repülőtereken a magasabb szintű veszélyeztetettség sajátos szabályrendszert igényel, amelyet a NATO STANAG-ek ajánlásai tartalmaznak.

Az előzőekben ismertetett jellemzőkből következik, hogy ha meglévő repülőteret akarunk kettős hasznosításúvá átalakítani, akkor szerencsésebb, ha a polgári repülőteret választunk. Hazánkban erre még nem volt példa. Az eddig felmerült kettős hasznosítások mindig katonai repülőtér bázisán történtek volna.

Az első kísérlet a kettős hasznosítás felé a taszári katonai repülőtér vonatkozásában történt. A repülőtér kettős hasznosítására vonatkozó 2001. januári kormánydöntést követően a kaposvári önkormányzat kezdeményezte a taszári polgári terminál és az ahhoz kapcsolódó létesítmények ingyenes tulajdonba adását az önkormányzat részére.

Még ugyanennek az évnek májusában döntött úgy a kormány, hogy nyilvános, kettős hasznosítású – azaz katonai és polgári – reptér lesz a Bakony harcihelikopter ezred állomáshelye Szentkirályszabadja repülőtér.

Azonban egyik projekt sem valósult meg. Taszáron a repülőbázis megszűnésével megszűnt a repülőtér is, Szentkirályszabadja a katonai alakulat felszámolásával önkormányzati tulajdonba került, azóta nem működő repülőtérként tartják nyilván. Az önkormányzattól az ingatlant megvásárló különféle okok miatt nem tudta megvalósítani repülőtér üzemeltetési elképzelését.

2012-ben újabb kormánydöntés született a kettős hasznosítású repülőterek kérdésében. Pápa Bázisrepülőtér kettős hasznosításáról döntöttek. Vajon a korábbi sikertelenségek után most van esély a megvalósulásra? A döntés óta eltelt másfél évben kézzelfogható eredmények még nem látszanak.

Miért van szükség kettős hasznosításra?

Repülőterek kettős hasznosítására több tényező, kiváltó ok hatására kerülhet sor.

Az egyik ok lehet, hogy katonai alakulatok leszerzése kapcsán repülőterek is felszabadulnak.

Katonai alakulatok fokozatos leépítésével felszabaduló repülőterek előbb kettős hasznosításúvá válhatnak, majd az alakulat diszlokálása, vagy felszámolása után polgári nyilvános repülőterek lesznek. Erre lehet példa a korábbi 31. Boelcke vadászbombázó ezred repülőtere, amely ma Allgäu-Airport Memmingen néven működik Németországban.

Olyankor is dönthetnek a kettős hasznosítás mellett, amikor a repülőtér fekvése, az infrastruktúra indokolja, hogy onnan mind polgári, mind pedig katonai repülőeszközök üzemeljenek.

Műveleti területeken ideiglenesen hadműveleti repülőtérnek jelölhetnek ki polgári repülőtereket, elsősorban katonai logisztikai utánpótlás biztosítására.

Nem ritkán a gazdasági megfontolások vezetnek erre a megoldásra. Könnyebb átalakítani és



kettős hasznosításba venni egy repülőteret, mint fenntartani kettőt, vagy nem gazdaságos a kihasználatlanság miatt csak katonai, vagy csak polgári üzemeltetés.

A felsorolás koránt sem teljes.

A kettős használat életképességét a jelenleg is működő repülőterek bizonyítják. A Pápa Bázis-repülőterre vonatkozó kormánydöntés világos szándékot jelez, aminek eredményeképpen hazánkban is létre fog jönni katonai- polgári hasznosítású repülőtér.

1. KETTŐS HASZNOSÍTÁSÚ REPÜLŐTEREK SAJÁTOSSÁGAI

Az adott repülőtér hasznosításának megváltoztatásakor meghatározásra kerül a repülőtér minősítése. A mentő tűzvédelem sajátosságai ez alapján jelentkeznek. Más sajátosságok mutatkoznak, ha például nemzetközi nyilvános repülőteret, vagy nyilvános repülőteret hozunk létre. Ugyanígy más a mentő tűzvédelem szervezete és működése, ha az új repülőtér állandó, vagy ideiglenes működésű. Befolyásoló tényező lehet az is, hogy van-e a repülőterre telepítve valamilyen katonai készenléti szolgálat, például légi kutató-mentő, vagy légvédelmi készülség. A legfontosabb tényező, ami a mentő tűzvédelemre meghatározó jelleggel bír, az a repülőteret használó repülőgépek tűzvédelmi kategóriája. Ez határozza meg, a készenlétkben tartandó beavatkozó erők méretét, teljesítőképességét. Kihatással van a tűzoltó szervezet létszámára, a készenléti technikai eszközök harcászati-műszaki paramétereire, mennyiségére [2].

A repülőtéri mentő tűzvédelem erőinek olyan teljesítő képességgel kell rendelkezni, hogy az érvényes jogszabályoknak megfeleljenek. Melyek ezek a jogszabályok? Mivel kettős hasznosítású repülőtéről van szó, a készenléti tűzoltó szolgálat meg kell, hogy feleljen a katonai és a polgári előírásoknak is. A megfeleltetés kiindulópontja, hogy hazánkban a katonai repülőterek is állami repülőterek, tehát a polgári előírások hatályosak. Ezen felül kell érvényre juttatni az általában szigorúbb, esetenként más eljárásrendet, technológiát előíró katonai jogszabályokat.

A kettős hasznosításba vett repülőtér reptérrendjének tartalmaznia kell az eltérő használatból eredő prioritásokat. Az új repülőtérnek más kényszerhelyzeti terveket kell készíteni. A kettős hasznosítás megjelenik a repülőtér Tűzvédelmi Szabályzatában is. A dokumentumok tartalmához igazodik a mentő tűzvédelem.

„A tűzoltó és mentő szolgálat legfőbb célja és feladata az életmentés.[6] A túlélhető légi jármű balesetek hatásos mentésének legfontosabb tényezői a következők:

- a mentésben résztvevő személyek kiképzése;
- az igénybe vett felszerelések hatékonysága;
- a beavatkozás gyorsasága, azaz a sebesség.”³

Vizsgáljuk meg a három kérdéskör segítségével a kettős hasznosítású repülőterek mentő tűzvédelmének sajátosságait.

³ ICAO ANNEX 14 Aerodroms Volume I Aerodrome Desing and Operations Chapter 9 9.2 Rescue and fire fighting

1.1 A humánerőforrás sajátosságai, felkészítés, kiképzés

A repülőtereken működő tűzoltó- mentő szolgálatok főfoglalkozású létesítményi tűzoltóságok⁴.

A készenléti szolgálatba főfoglalkozási létesítményi tűzoltók⁵ vannak vezényelve. A létesítményi tűzoltóság összlétszámának biztosítania kell a mindenkori legkisebb előírt készenléti létszámot. [3]

1.1.1 A beavatkozók létszáma

Katonai repülőtereinkre a STANAG 7133⁶-ban foglaltak alapján rendszeresítettük a készenléti létszámot. A dokumentum többek között előírja, hogy minden készenlétkben lévő tűzoltó gépjármű legalább 3 fő személyzettel rendelkezzen.

A hazánkban lévő katonai repülőterek 5-ös és 8-as tűzvédelmi kategóriába tartoznak. A szabványosítási egyezmény ezekre a kategóriákra minimum 9, illetve 8-as kategória esetén minimum 12 fő beavatkozót ír elő. [1] Jelenleg a minimum létszámokat tudjuk biztosítani. Ez elég egy adott tűzvédelmi kategóriájú katonai repülőeszköz tüzésének oltására, a személyzetek mentésére.

Mint tudjuk, a katonai repülőeszközök sajátossága, hogy elsősorban fegyverzetet, pusztító eszközöket, illetve katonai logisztikai anyagokat hordoznak, szállítanak. A polgári repülőeszközök a logisztikai anyagokon felül, elsősorban személyszállítást végeznek, ezért repülőbalesetük alkalmával a közvetlen életveszélyben lévők száma nagyságrendekkel magasabb lehet, mint a katonai repülőeszközök balesete során.

A mentésükhöz szükséges csoportok száma, és a mentők létszáma bőven meghaladja a katonai baleseteknél előírtakat. Ebből következik, hogy kettős hasznosítású repülőtéren a katonai jogszabályokban a kategóriákhoz előírt beavatkozó tűzoltók létszáma még szükségszerűen sem elegendő. Szükség van a tűzoltó készenléti szolgálatnak a polgári előírásoknak megfelelő létszámra való kiegészítésére.

Milyen megoldások lehetnek?

- A katonai készenléti szolgálat létszámának megnövelése a kategóriának megfelelően.
 - előnye: a szolgálat irányítása továbbra is egy szakmai kézben érvényesül.
 - hátránya: az MH-nak létszámnövekedést okoz.
- A katonai készenléti szolgálat kiegészítése polgári hivatásos tűzoltókkal
 - előnye: nem kell a teljes állománynak polgári repülőeszközökből kiképzést tartani.
 - hátránya: a polgáriak nem tartoznak a Hjt. hatálya alá, ennek számtalan hátrá-

⁴Főfoglalkozású létesítményi tűzoltóság: kizárólag főfoglalkozású tűzoltókból vagy vegyesen főfoglalkozású és alkalmoszerűen igénybe vehető létesítményi tűzoltókból álló létesítményi tűzoltóság, amelyben mindenkor legalább négy főfoglalkozású létesítményi tűzoltó lát el készenléti jellegű szolgálatot. (239/2011. (XI. 18.) Korm. rendelet 1.§ 8. pont)

⁵ Főfoglalkozású létesítményi tűzoltó: a tűzoltói tevékenységét tűzoltó szakmai feladatok ellátására irányuló munkaviszony alapján, készenléti jellegű szolgálatban végző, vagy a létesítményi tűzoltóság szakmai feladatellátását irányító, jogszabályban meghatározott tűzoltó szakmai képesítéssel rendelkező és a hivatásos tűzoltókra előírt egészségügyi, fizikai és pszichikai követelményeknek megfelelt, 18. életévét betöltött személy. (239/2011. (XI. 18.) Korm. rendelet 1.§ 6. pont)

⁶ STANAG 7133 Minimum level of crash, fire fighting and rescue (cfr) service for deployed fixed and rotary wing aircraft

nyos következménye lehet. Külön kiképzésre van szükség a katonai tűzoltó eszközök, védőfelszerelések és oltási-mentési eljárások elsajátításához. (például: repülőtéri speciális tűzoltó tanfolyam, 3 fős szerelési technikák, normafeladatok stb.)

- A repülőtéren a kategóriának megfelelő katonai és polgári létesítményi tűzoltóság egyidejű fenntartása
 - előnye: nincs külön képzési igény;
 - hátránya: a legköltségesebb változat.

1.1.2 A beavatkozó felkészítése, kiképzése:

Azok a tűzoltók, akik nem ismerik a katonai repülőeszközök általános, ezen belül az adott géptípus egyedi tűzoltási-mentési sajátosságait, nem végezhetik a mentést és oltást, hiszen esetleg fokozott veszélyt, balesetet idéznének elő.[4] Miből adódhatnak ezek a veszélyek? Elsősorban a fegyverzet, a függesztett pusztító eszközök blokkolásának, a hajtóművek leállításának valamint vadászrepülőgépek esetén a katapult ülések biztosításának megkövetelt eljárásaiból.

A másik oldalról azok a tűzoltók, akik nem ismerik a polgári repülőeszközök oltási-mentési szabályait, baleset esetén hátráltathatják, akadályozhatják az időben végrehajtandó mentést, ami esetleg eredménytelenséghez vezethet.

Szükséges tehát, hogy minden készenlétbe vezényelt tűzoltó a repülőtéren jellemzően található repülőeszköz típus oltási és mentési eljárásait, sajátosságait ismerje, azokat képes legyen kötetlenségben normaidőre végrehajtani, legyen az polgári, vagy katonai repülőeszköz.

A polgári repülőterek tűzoltói számára külön speciális repülőtéri ismereteket hazánkban a Liszt Ferenc repülőtér létesítményi tűzoltósága képes nyújtani.

A polgári főfoglalkozású létesítményi tűzoltók képesítési követelményein⁷ felül, a katonai repülőtéri tűzoltók képességeit, jártassági követelményeit a STANAG 7145⁸ írja elő.

A NATO előírásoknak megfelelő katonai repülőtéri tűzoltó beosztás ellátásához,[7] a NKE Katasztrófavédelmi Intézete szervez tanfolyamokat a 86. Szolnok Helikopterbázis bázisán.

Amikor döntés születik a létszám kiegészítésről, a felsorolt képzési szükségleteket is figyelembe kell venni.

Milyen megoldások lehetnek?

- A katonai tűzoltók felkészítése a polgári repülőeszközökből való mentés és tűzoltás eljárásaira;
 - előnye: várhatóan kisebb létszám képzése szükséges, a képzési idő rövidebb, mint ha a polgári tűzoltókat képeznénk ki katonai tűzoltásra;
- a polgári tűzoltók képzése katonai mentési és tűzoltási eljárásokra;
 - hátránya: hosszabb képzési idő (legalább egy hónap).

⁷ 10/2008. (X. 30.) ÖM RENDELET a hivatásos katasztrófavédelmi szerveknél, a tűzoltóságoknál, valamint az ez irányú szakágazatban foglalkoztatottak szakmai képesítési követelményeiről és szakmai képzéseiről

⁸ STANAG 7145 (EDITION 5) minimum core competency levels and proficiency of skills for fire fighters



1.2 Az igénybe vett technikai eszközök és felszerelések különbözőségéből adódó sajátosságok

Katonai tűzoltóink rendelkeznek ismeretekkel a polgári (hivatásos) tűzoltóság felszereléseinek használatáról, hiszen a tűzoltó alapképzést (4 hónap) az ő eszközeik felhasználásával végzik. A kisépkezelői vizsgákat (motorfűrész, feszítő-vágó, motoros fecskendő, gyorsdaraboló, emelőpárna stb.) is a hivatásos tűzoltóság eszközein teszik le. A kisépkezetek esetében rövid ismertető után a gyakorlatban is képesek elsajátítani az új típusok kezelését. A rendszeresített tűzoltó gépjárművek különbözőségéből adódik, hogy azok üzemeltetése csak típusátképzés után történhet. A repülőtéri tűzoltó gépjárművek nemzetközi és hazai szabvány által előírt technikai paraméterei mindkét oldalról biztosítottak.

Noha a különböző együttműködési szerződések jóvoltából van közös tapasztalat egymás eszközeinek kezelésében, azonban azt nem repülőeszközökkel kapcsolatos feladatok között szerezték, hanem elsősorban aljnövényzet, bozót, erdőtüzek alkalmával.

Katonai repülőeszközökkel kapcsolatosan a taszári repülőtéren a Jugoszláv válság során folyamatos együttműködés, közös képzés és az USA tűzoltási eljárásainak átvétele történt a bázison működő magyar és az amerikai katonai tűzoltók között. Ma már ezek a tapasztalatok sem relevánsak.

Annak ellenére, hogy rendszeresített technikai eszközeink, felszereléseink európai színvonalúak, ha a kettős hasznosítású repülőtéren csak katonai tűzoltók fognak szolgálatot teljesíteni, el kell őket látni a polgári repülőeszközök oltásához, mentéséhez szükséges eszközökkel, berendezésekkel. Ezek fajtája, típusa, mennyisége a repülőgépek típusától, tűzvédelmi kategóriájától függ.

Milyen eszközökre lehet szükség?

- Az oltáshoz a polgári repülőtereken rendszeresített oltóanyag típusokra;
- az oltóvíz pótlását biztosító, kellő méretű vízszállító tűzoltó gépjárműre;
- egészségügyi felszerelés kiegészítésére. Különösen nyakrögzítő, gerincrögzítő, törések rögzítésére, vérzéscsillapításra, sebesültszállításra, melegen tartásra használatos felszerelésekből a kellő mennyiségre;
- az adott géptípusba történő behatolásra, a pilótafülkében, törzsben végzendő műszaki mentéshez szükséges speciális szerszámokra, eszközökre.

1.3 A gyorsaság és a készenléti fokozatok sajátosságai

A három kérdéskör talán legproblémásabb területe.

Repülőgép balesetek során a legfontosabb a beavatkozás mielőbbi megkezdése. Erre a repülőeszköz szerkezete, veszélyes rendszerei, valamint az általa hordozott veszélyes, gyúlékony anyagok miatt van szükség. Gondoljunk csak bele, itt nincsenek szabványban meghatározott tűzállósági határértékek, tűz gátló szerkezetek stb., mint egy épület esetében, amelyekkel csökkenthetők, lassíthatók az égési folyamatok.

Az ICAO tesz ajánlást a repülőtereken a beavatkozási időkre: „A tűzoltó és mentő szolgálatok gyakorlati célja a kettő percet meg nem haladó beavatkozási idő elérése, illetve biztosítása,



azaz optimális látási körülmények és talajviszonyok között minden üzemelő futópálya bármely részének kettő percen belül történő elérése és a beavatkozás megkezdése.”⁹

A beavatkozási idő biztosítja a gyorsaságot, amely lehetővé teszi a repülőgépekből való eredményes mentést. A gyorsaság és eredményesség érdekében a polgári repülőtereken riasztási fokozatokat használnak.

A polgári repülőtereken I-V (kiemelt) riasztási fokozatot alkalmaznak. A fokozat mértékét a repülőeszköz kategóriája, illetve több más tényező mellett elsősorban a szállított személyek száma határozza meg. A magasabb fokozathoz magasabb számú technikai eszköz és tűzoltó létszám tartozik.[8]

A katonai repülőtereken készenléti fokozatok elrendelésével biztosítják, a vonulási idő csökkentését. III-I. fokozatot alkalmaznak. Mindig a teljes készenléti állomány vonul. A fokozatok elrendelése a veszélyhelyzet függvényében történik. Katonai repülőeszközök baleseteinél az eszközök fokozott veszélyessége miatt kiemelten fontos a kettő percen belüli beavatkozás.

A leírtakból adódik, hogy folyamatosan működő légi szolgáltatást nyújtó repülőtereken az ismertett katonai készenléti fokozatok nem alkalmazhatók. A megoldás katonai repülőeszközök veszélyhelyzete és balesete alkalmával a katonai készenléti fokozatok, polgári repülőeszköz baleset során a riasztási fokozatok alkalmazása.

2. ÖSSZEFOGLALÁS

Kettős hasznosítású repülőtereken a beavatkozó tűzoltó állománynak ismernie kell mind a polgári, mind pedig a katonai repülőeszköz mentési és oltási sajátosságait, erre fel kell készíteni őket.

A technikai eszközök és felszerelések tekintetében a különbözőség áthidalása érdekében egymás eszközeit tudni kell kezelni, a hiányzó felszereléseket ki kell egészíteni.

Polgári repülőtereken lehetőség van a riasztási fokozatnak megfelelően a beavatkozók és a szerrek létszámának növelésére, míg katonai repülőtereinken a tűzvédelmi kategóriához tartozó minimális beavatkozó létszám és tűzoltó gépjármű áll csak rendelkezésre. Az együttműködési megállapodások alapján riasztható hivatásos tűzoltóság erőinek beérkezése időben eltolódik.

A készenléti fokozatok és riasztási fokozatok párhuzamos alkalmazása válik szükségessé.

⁹ ICAO ANNEX 14 Aerodroms Volume I Aerodrome Desing and Operations Chapter 9 9.2.22



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] STANAG 7133 (EDITION 2) Minimum level of crash, fire fighting and rescue (cfr) service for deployed fixed and rotary wing aircraft
- [2] STANAG 3712 (EDITION 8) Airfield rescue and fire-fighting services identification categories
- [3] 239/2011. (XI. 18.) KORM. RENDELET az önkormányzati és létesítményi tűzoltóságokra, valamint a hivatásos tűzoltóság, önkormányzati tűzoltóság és önkéntes tűzoltó egyesület fenntartásához való hozzájárulásra vonatkozó szabályokról.
- [4] ICAO DOC 9137-AN/898 1. rész Repülőtéri Szolgálatok Kézikönyve (3. kiadás 1990)
- [5] NFPA 402: Guide for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Operations (Edition 2013)
- [6] ICAO ANNEX 14 Aerodroms Volume I Aerodrome Desing and Operations
- [7] STANAG 7145 (EDITION 5) minimum core competency levels and proficiency of skills for fire fighters
- [8] DR. BAKOS GYULA: Riasztási fokozatok meghatározásának nehézsége és megoldási lehetőségei repülőgép balesetek esetében (tanulmány Dr. Balogh Imre pályázat 2011.)

Szabó Sándor¹

LE- ÉS FELSZÁLLÓPÁLYÁK, GURULÓUTAK GYORS KIALAKÍTÁSÁNAK, HELYREÁLLÍTÁSÁNAK KORSZERŰ ESZKÖZEI²

A repülőeszközök megjelenése, elterjedése szükségszerűen vonta maga után a biztonságos fel- és leszállást biztosító helyek – repülőterek – kialakítását, karbantartását. Kiemelten igaz ez a katonai repülőterekre vonatkozóan, ahol minden napszak és időjárási viszonyok között biztosítani kell a repülőeszközök biztonságos indítását és fogadását. A NATO repülőterekre vonatkozó STANAG-ek előírásai nagyon szigorúan szabályozzák a repülőterek biztonságos üzemeltetésével kapcsolatos tennivalókat és meghatározzák azok végrehajtásának legfontosabb paramétereit. A légierő műszaki csapatainak egyik alapvető feladata a merev- és forgószárnyas repülőeszközök biztonságos le- és felszállásához szükséges repülőterek, helikopter leszállóhelyek üzemeltetése, karbantartása, a különböző (üzemeltetésből eredő és az ellenség által okozott) rongálások helyreállítása.

SOME MODERN EQUIPMENT FOR THE RAPID DEVELOPMENT AND REPAIR OF RUNWAYS AND TAXIWAYS

The appearance of the airplanes and their spreading made necessary to construct and maintain safe take-off and landing places, airfields. This is especially true for military airfields, where all time of day and weather conditions has to ensure the safe take off and receiving aircrafts. The NATO STANAG requirements for airfields very strictly regulate the airfield safety management agenda and determine the key parameters of each task. The most important fundamental tasks of the Air Force engineer subunits are to prepare, to operate, to maintain and to recover heli-pads and airfields for the safe take-off and landing.

BEVEZETÉS

Napjainkban a különböző – a Washingtoni Szerződés 5. cikkelye szerinti (háborús) és az 5. cikkely hatálya alá nem tartozó (válságreakáló) – katonai műveletek végrehajtása során kiemelten fontos feladatokat oldanak meg a légierő csapatai. „A légierő technikai eszközei mozgékonyságának kihasználásával magas szinten képes a (had)műveletek támogatására és jelentősen megkönnyítheti az előre nem látható, váratlan feladatok végrehajtását is. A légi szállítási feladatok végrehajtásával, a szükséges erők és eszközök kellő időben és kellő helyre történő eljuttatásával a légierő jelentősen megnövelheti a szárazföldi erők helyváltoztatási, műveleti képességét – és ebből adódóan -tevékenységük hatékonyságát is!”³

A különböző műveletek végrehajtása során a légierő klasszikus feladatrendszerén belül kiemelt, hangsúlyos feladattá vált a légi felderítés és megfigyelés, a légi szállítás (erő, eszköz, anyag), a légi kutatás-mentés, (Search & Rescue – SAR, Combat Search & Rescue – CSAR) a sebesültek

¹ Prof. Dr. Szabó Sándor (CSc) egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtiszt-képző Kar Katonai Vezetőképző Intézet Műveleti Támogató Tanszék, szabo.sandor@nke-uni.hu

² Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán mk. alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtiszt-képző Kar Katonai Vezetőképző Intézet Műveleti Támogató Tanszék, kovacs.zoltan@nke-uni.hu

³ Orosz Zoltán: „A helikopterek katonai alkalmazásának lehetőségei és a katonai alkalmazás valósága Magyarországon.” http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/orosz_zoltan.pdf. 2009.02.06.

evakuálása (Medical Evacuation – MEDEVAC), valamint a humanitárius segélyakciókban és a katasztrófavédelmi feladatokban való részvétel.

Ezen feladatok sikeres megoldásához a merev- és forgószárnyas repülőeszközöknek biztonságos le- és felszállóhelyekre van szüksége.



1. ábra Kiepipített repülőtér⁴



2. ábra Állandó le- és felszállóhely⁵

A légierő (összhaderőnem) műszaki csapatainak egyik alapvető feladata a merev- és forgószárnyas repülőeszközök biztonságos le- és felszállásához szükséges repülőterek és helikopter leszállóhelyek berendezése, karban- és üzemeltetése, a különböző (üzemeltetésből eredő és az ellenség által okozott) rongálások helyreállítása.



3. ábra Repülőtéri rombolás helyreállítása⁶



4. ábra Szükség leszállóhely kijelölése⁷

A publikáció a légierő tevékenységének műszaki támogatási feladataiból a le- és felszállópályák, -helyek, gurulótak gyors kialakításának, helyreállításának korszerű eszközeiből a FAUN cég által kifejlesztett – a mobilitást elősegítő – eszközrendszert kívánja bemutatni figyelemfelkeltésként, a teljesség igénye nélkül.

⁴ Forrás: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/F-4G_81st_TFS_serviced_at_Spangdahlem_1990.JPEG, 2014.03.01.

⁵ Forrás: http://assets.nydailynews.com/polopoly_fs/1.1571353!/img/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/landscape_635/columbia-air-force-kentucky.jpg, 2014.03.01.

⁶ Forrás: <http://www.andersen.af.mil/shared/media/photodb/web/2012/09/120830-F-NA975-008.JPG>, 2014.03.01.

⁷ Forrás: http://www.globalsecurity.org/military/world/iraq/images/camp-korean-village_vicinity_2004815185122.jpg, 2014.03.01.



A MOZGÁS-, MANŐVERSZABADSÁG JELENTŐSÉGE

A történelmi tények sokasága bizonyítja, hogy a katonai műveletek végrehajtása során a mozgás-, manőverszabadság megteremtése, fenntartása döntően befolyásolta a tevékenységek sikerét.

Napjainkban sincs ez másképpen, legyen szó akár szárazföldi, akár légi mozgásokról.

A szárazföldi csapatok mozgása, mozgékonyága egyidős a fegyveres küzdelemmel. A hajózás megjelenésével ez a tevékenység kibővült a víz felszínével, később lekerült a víz alá is. A légi mozgás- és mozgékonyág a repülőeszközök megjelenésével kapott értelmet.

A Katonai lexikon a mozgékonyág fogalmát az alábbiak szerint definiálja: „a katonai erőknek és a hozzájuk tartozó logisztikai szerveknek az a helyváltoztató képessége, amely alkalmassá teszi a csapatokat arra, – az elsődleges feladat-végrehajtó képességüket megtartva – hogy az egyik helyről, területről a másikkra közlekedjenek.”⁸

Hasonlóan fogalmazza meg a mozgékonyág – mobility – jelentését az Egyesült Államok Védelmi Minisztérium és a NATO katonai szótára is.⁹ (Az eredeti forrás a JP 3-17 Air Mobility Operations 2013. szeptember 30-án frissített kiadványa¹⁰.)

Összegezve a fenti fogalmak lényegét megállapíthatjuk, hogy katonai szempontból a mozgás-, manőverszabadság biztosítása alatt azon feltételek megteremtését és annak folyamatos fenntartását értjük, melyek lehetővé teszik a katonai erők, eszközök gyors és akadálymentes helyváltoztatását.

JP 3-17 Air Mobility Operations kiadvány a viii. oldalán a mozgékonyág négy alapfeltétele között említi meg az infrastruktúrát.¹¹

A légierő repülőcsapatok mozgás-, manőverszabadsága megteremtésének egyik fontos feladata – az infrastruktúra alapelemeit képező – a merevszárnyú repülőeszközök le- és felszállópályáinak, gurulótjainak, a forgószárnyas, vagy a függőlegesen fel- és leszálló – VTOL¹² repülőeszközöknek pedig a le- és felszállóhelyek kialakítása, rombolásuk esetén azok gyors helyreállítása.

A fenti infrastruktúraelemek gyors kialakításának kérdései nem mai keletűek. A II. világháborút megelőző időszakban a repülőgépek le- és felszállópályáinak gyors kiépítésére alapvetően a deszkapadlózatot alkalmazták.

Nagy szállítótér igényük, egyszer használhatóságuk miatt csak a legszükségesebb esetekben használták. Az Egyesült Államokban már a II. világháborút megelőzően kutatások folytak a

⁸ Forrás: Katonai lexikon, Főszerkesztő: Damó László, Budapest, Zrínyi Katonai Kiadó, 1985. ISBN 963-326-178-3, 88. oldal.

⁹ Mobility – A quality or capability of military forces which permits them to move from place to place while retaining the ability to fulfill their primary mission. Forrás: Joint Publication 1-02 Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms. http://jtc.fhu.disa.mil/jtc_dri/pdfs/jp1_02.pdf, 352. oldal. 2014.03.02.

¹⁰ Letölthetőségi helye: http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp3_17.pdf, GL-10 oldal.)

¹¹ JP 3-17 Air Mobility Operations, http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp3_17.pdf, viii. oldal. 2014.03.02.

¹² A VTOL – a Vertical Take-Off and Landing rövidítése, amelyet a függőleges fel- és leszállásra képes légi járművek jelzésére használnak.

nagy szilárdsággal rendelkező, többször felhasználható, gyors építési lehetőséget biztosító ideiglenes le- és felszállópályák, gurulóutak kialakítási lehetőségeiről, eszközrendszereiről.



5. ábra A németek által fából épített kifutópálya a II. világháború során¹³

Az első kézzelfogható eredményeket a Waterways Experiment Station (Az Engineer Research and Development Center – ERDC¹⁴ elődje.) érte el 1941 novemberében, amikor is bemutatta a Marsden Matting (Ismert még Marston mats vagy Marston Plate néven, illetve használatos a Pierced (or Perforated) Steel Planking – PSP kifejezés is¹⁵) készletét, melyet az ideiglenes le- és felszállópályák, gurulóutak kialakítására tervezett.



6. ábra Marsden Matting elemek¹⁶



7. ábra A le- és felszállópálya építése¹⁷

A Marsden matting készlet lyukakkal perforált acélszalagokból állt, melyeket speciálisan kialakított kapcsoló szerkezettel rögzítettek egymáshoz. Egy elem 3,05 m hosszú, 0,38 m széles és 6,4 mm vastag volt, tömege pedig közel 32 kilogramm.¹⁸ Az elemek tetszőleges szélességű és hosszúságú gurulóutak, állóhelyek, le- és felszállópályák kialakítását tették lehetővé. Nagy előnyüknek számított a gyors építhetőség, a többszöri felhasználhatóság, a jó vízvezető tulajdonság (a perforálás következtében) és az, hogy az acél magas mangántartalma miatt nagymértékben ellenállt a korrózióknak is. A későbbiek folyamán a tömeg csökkentése érdekében alumíniumból is gyártották, de szilárdsági, illetve korrózióvédelmi szempontból nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket.

¹³ Forrás: <http://forum.12oclockhigh.net/showthread.php?t=18611&page=3>, 2013.03.02.

¹⁴ Műszaki (Mérnöki) Kutatási és Fejlesztési Központ – a szerző megjegyzése.

¹⁵ Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/Marsden_Matting, 2014.03.02.

¹⁶ Forrás: http://cdn2.sulitstatic.com/images/2012/1008/232507250_231648493d302f70820bb95d92f7bc460f0f937807b1d5717.jpg, 2014.03.03.

¹⁷ Forrás: <http://416th.com/PSP.JPEG>, 2014.03.03.

¹⁸ Forrás: http://pwencycl.kgbudge.com/M/a/Marston_Mat.htm, 2014.03.03.



8. ábra Az elkészült le- és felszállópálya¹⁹

A kezdeti biztató lépéseket az idők folyamán további fejlesztések, korszerűsítések követték, melyek eredményeként számtalan új eszköz és eljárás jelent meg.

Napjaink egyik legmodernebb eszközrendszere a KIRCHHOFF csoporthoz tartozó FAUN cég angliai gyáregységében üzemelő TRACKWAY²⁰ (Pálya) részleg által fejlesztett – és a róla elnevezett – FAUN TRACKWAY (FAUN Pálya) készlet.

A TRACKWAY részleg kiemelkedő történeti múlttal rendelkezik az alumínium termékek katonai gyártási terén az Egyesült Királyságban, ahol több mint 60 éve gyárt különböző termékeket a Védelmi Minisztérium részére.

Fejlesztéseiket, elért eredményeiket az alábbi adatok meggyőzően bizonyítják:

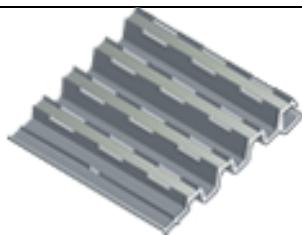
- 1960 – Az első Trackway megoldás tervezése az expedíciós erők részére.
- 1967 – Elindul az MLC 30 Trackway program.
- 1968 – Elindul az MLC 60 Trackway program.
- 1975 – A Trackway alkalmazása, mint airfield Bomb Damage Repair Mat (BDRM).
- 2007 – HGMS – HEAVY GROUND MOBILITY SYSTEM fejlesztése.
- 2011 – Az UAV kifutópálya tervezése.

A FAUN TRACKWAY sokrétűen alkalmazható – mobilitást támogató – rendszer, egy innovatív megoldás a járművek és repülőgépek szárazföldi mozgékonyságának fenntartása, biztosítása érdekében. Az eszközpark ideiglenes „mozgási pályafelületet” biztosít a különböző technikai eszközök számára a puha, sáros, mocsaras, havas, homokos (fövenyes) tengerparti vagy sivatagi terepen egyaránt.

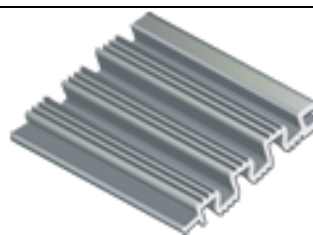
A rendszer alapját a speciális alumínium ötvözetből gyártott panelek képezik. A paneltípusokat a várható alkalmazási lehetőségekhez tervezték, így profiljuk, szerkezeti kialakításuk és terhelhetőségük is más és más.

¹⁹ Forrás: <http://spitfiresite.com/2010/04/raf-airfields-in-mainland-europe-1944-45.html>, 2013.03.03.

²⁰ A TRACKWAY jelentése sokrétű, a szó jelentését az eszközök mozgását biztosító pálya, járófelületként használom.



9. ábra MLC 30 panel²¹

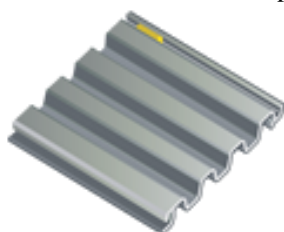


10. ábra MLC 70 panel²²

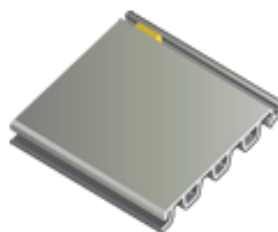
<p style="text-align: center;"><i>Egész panel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Szélesség: 3,35 m • Hosszúság: 229 mm • Magasság: 22,8 mm • Tömeg: 15,6 kg • Felület: 0,767 m² <p style="text-align: center;"><i>Osztott panel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Szélesség: 2 db (1 db balos és 1 db jobbos) osztott panel • Hosszúság: 229 mm • Magasság: 22,8 mm • Tömeg: <ul style="list-style-type: none"> - 1-es típusú – 6,38 kg - 2-es típusú – 1,4 kg • Felület: 0,3835 m² <p>A panelek egy speciális kialakítású – T-alakú – hornyos szerkezettel kapcsolódnak egymáshoz, amely a panelek között csuklós átmenetet biztosít.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Egész panel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Szélesség: 4,572 m • Hosszúság: 228 mm • Magasság: 31 mm • Tömeg: 33,11 kg • Felület: 1,042 m² <p style="text-align: center;"><i>Fél panel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Szélesség: 2,286 m; • Hosszúság: 228 mm; • Magasság: 31 mm; • Tömeg: 16,6 kg; • Felület: 0,521 m². <p>Porszórásos bevonattal vagy eloxált felülettel rendelkezik a fényvisszaverődés csökkentése érdekében.</p>
--	--

1. táblázat MLC 30 panel adatai²⁰

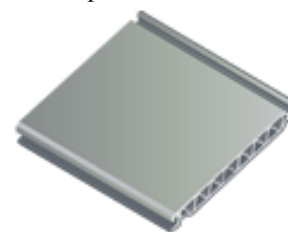
2. táblázat MLC 70 panel adatai²¹



11. ábra PSA panel²³



12. ábra PSA FLAT TOP panel²²



13. ábra S-Series panel²²

<ul style="list-style-type: none"> • Szélesség: 250 mm • Hosszúság: 2,64 m • Magasság: 22 mm • Tömeg: 10,6 kg • Felület: 0,66 m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Szélesség: 342 mm • Hosszúság: 2,64 m • Magasság: 23,5 mm • Tömeg: 11,9 kg • Felület: 0,9028 m² <p>A PSA FT panelek csúszásmentes, festett felülettel rendelkeznek.</p>	<p style="text-align: center;"><i>S45 típus</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Szélesség: 520 mm • Hosszúság: 2,64 m • Magasság: 31 mm • Tömeg: 39,4 kg • Felület: 1,3252 m²
--	--	--

A panelek galvanizáltak a tartósság, a korrózió elleni védelem és a felületi tükröződés csökkentése érdekében. A talajra történő rögzítéshez szükséges tartozékok készletezve vannak.

3. táblázat PSA panel adatai²²

4. táblázat PSA FLAT TOP panel adatai²²

5. táblázat S-Series panel adatai²²

²¹ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/MGMS_Fast_Facts_EN.pdf, 1. oldal. 2014.03.02.

²² Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HGMS_technical_data_sheet_UK.pdf, 3. oldal. 2014.03.02.

²³ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_Fast_Facts_EN.pdf, 2. oldal. 2014.03.02.



A FAUN Trackway rendszer katonai és polgári célú felhasználásra egyaránt alkalmas.²⁴

A polgári életben széleskörűen alkalmazható különböző humanitárius és katasztrófa-elhárítási műveletek során, ahol az elzárt területekhez való gyors hozzáférés elengedhetetlen. Szintén jól használható a nehezen járható, megközelíthető terepszakaszokon való mozgásbiztosításhoz. (bányászat, erdészet, stb.)

Katonai célra három komplett hordozható pályaszerkezetet alakítottak ki. A Heavy Ground Mobility System (HGMS), Medium Ground Mobility System (MGMS) és Adjustable Ground Mobility System (AGMS).

A HGMS lehetővé teszi, hogy a járművek könnyedén mozogjanak a nehezen járható terepen, mint például a homok, a hó, a sár, a mocsár és a jég. Robosztus kialakítása, nagy terhelhetősége biztosítja a legnehezebb technikai eszközök – hídszállító gépkocsik, harckocsik, nehéz szállítmányok, stb. – átbocsátását is.

A HGMS rendszer MLC 70 teherbírású, 50 m hosszú pályafelület létesítésére alkalmas kétfős kezelőszemélyzettel, 6 perc alatt. Az alapjármű vontatmányaként – egy speciális utánfutón – további 50 m pályafelület szállítható, mely hosszabb mozgási pálya kialakítását teszi lehetővé. Az elemek gyorsan, egyszerűen csatlakoztathatók egymáshoz. HGMS a sikeres ideiglenes át-hidalás elengedhetetlen eszközszerkezete.

Az MGMS rendszer a HGMS-hez hasonló kialakítással rendelkező, MLC 30 teherbírású, 32–50 m hosszú pályafelület létesítésére alkalmas. Két változata került kialakításra. Az alapváltozat – FASTRACK – terepjáró tehergépkocsi alvázán került elhelyezésre. Telepítési ideje 7, a visszatelepítés ideje pedig 9 perc. A másik változatot – BEACH DISPENSER – egy közepes gumikerekes traktorra szerelték fel és alapvetően a homokos tengerpartok, öblök járhatóságának növelésére alkalmazzák. Telepítési ideje 4, a visszatelepítés ideje pedig 9 perc.

Az AGMS egy speciálisan kialakított telepítő-, szállító- és tárolórendszer, mind az MLC 30, mind az MLC 70 típusú készlethez. A rendszer lényege a közepes gumikerekes homlokrakodó traktorra gyorscsatlakozókkal felszerelt állítható adagoló szerkezet, mely így alkalmassá vált mindkét típusú készlet telepítésére, szállítására és tárolására.

Az AGMS rendszer minimális munkaerővel (2 fő kezelőszemélyzet) gyors telepítést (kevesebb, mint 10 perc) tesz lehetővé.

Szintén alapvetően katonai alkalmazásra került kifejlesztésre a Vehicle Recovery Mats (VRM) rendszer, mely a gépjárművek elakadásának megelőzésére, illetve az elakadt gépjárművek mentésére alkalmazható.

A kialakított készletek alkalmasak az elakadt gépjárművek mentésére homokos, iszapos, mocsaras jeges vagy egyéb nehéz terepen egyaránt.

²⁴ Forrás: http://www.army-technology.com/contractors/air_support/faun-trackway/, 2013.03.09.



Háromféle megoldás került kidolgozásra:

- Heavy VRM (HVRM) – MLC 70 Trackway panelek felhasználásával a nagytömegű gépjárművek mentésére;
- Medium VRM (MVRM) – MLC 30 Trackway panelek felhasználásával a 30 t tömeget meg nem haladó gépjárművek mentésére;
- Light VRM (LVRM) – Egy könnyű textilből kialakított alkalmazás a 10 t tömeget meg nem haladó gépjárművek mentésére. A rendszer alapját az epoxigyantával megerősített, keresztirányban rudakkal ellátott textil szalag képezi, mely hatékonyan osztja el a járművek tengelyterhelését a nehezen járható terepen.

Valamennyi VRM egységcsomagban van készletezve, rövid idő alatt kézzel telepíthető, visszatelepíthető.

IDEIGLENES LE- ÉS FELSZÁLLÓPÁLYÁK, HELYEK

A FAUN által kifejlesztett és a fentiekben röviden bemutatott alumínium panelek közül 4 panel alkalmas a repülőgépek, UAV-k és helikopterek részére szükséges ideiglenes le- és felszállópályák, helyek, gurulóutak kialakítására a műveleti, illetve katasztrófa sújtotta területen egyaránt. A fejlesztések alkalmasak a repülőteret ért támadás után a le- és felszállópályák, helyek, gurulóutak rongálódásainak gyors javítására is.

A légielő részére 4 alkalmazás került kialakításra:

- ALM – Aircraft Landing Mat;
- HLM – Helicopter Landing Mat;
- UAVLM – UAV Landing Mat;
- RRR – Rapid Runway Repair.

ALM – Aircraft Landing Mat^{25,26,27}

Az Aircraft Landing Mat – ALM készlet lehetővé teszi a műveleti, illetve katasztrófa sújtotta területen ideiglenes le- és felszállópályák, helyek, gurulóutak létrehozását, ahol nincs idő, vagy nem követelmény az állandó repülőter megléte.

A különböző panelprofilok – Load Classification Number (LCN) – terhelés osztályozási szám²⁸ – alapján különböző repülőeszközök le- és felszállását képesek biztosítani. Az ALM készlet NATO szabványos raklapokon került elhelyezésre, amelyek rövid idő alatt gépjárművel, légi, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel juttathatók el a felhasználás helyére.

A készletből kialakítható standard le- és felszállópálya 22 m széles és 1600 m hosszú, a teljes

²⁵ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/aircraft-landing-mat/>, 2014.02.02.

²⁶ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_Fast_Facts_EN.pdf, 2014.02.02.

²⁷ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 2014.02.02.

²⁸ Forrás: Segédlet: A katonai repülőterek fogadóképességének megállapításához a szilárd burkolatok teherbírása alapján. HM Katonai Légügyi Hivatal, 1999. 5. oldal.

területe 35 200 m². Telepítése kézi erővel történik. A kialakított pályaszerkezet alkalmas a következő típusú, vagy ezzel, azonos paraméterekkel rendelkező repülőgépek fogadására, indítására: C-130, C-17, F-15.

Készletből a standard le- és felszállópálya kialakítása mellett alkalmas ideiglenes fel- leszállóhelyek, gurulóutak létesítésére, illetve „kemény felületként” alkalmazható a repülőeszközök álló-, tároló helyeként is. Az alumíniumból készült panel képes elviselni akár 228 497 kg/m² (325 PSI) terhelést – a gumiabroncsnyomástól és CBR-től (Californian Bearing Ratio) függően.²⁹

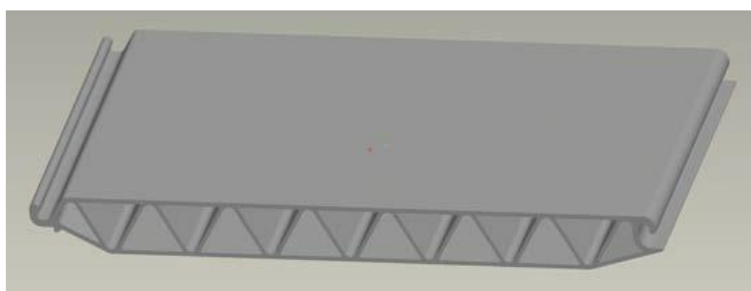
Az Aircraft Landing Mat – ALM készlet az alábbi az öt elemet foglalja magába:

- TRACKWAY panelek: kézzel könnyen össze- és szétszerelhető alumínium panelek;
- Készletezés: panelek tárolása és szállítása NATO szabványos raklapon történik;
- Szerelő készlet: azon eszközök, melyek szükségesek a panelek telepítéséhez, visszatelepítéséhez;
- Rögzítő tüskék: biztosítják a panelek talajhoz történő rögzítését;
- Membrán: geotextil membrán, melyet a panelek alá helyeznek a porképződés megakadályozására, csökkenti „brownout” hatást³⁰ és védi a paneleket.

Aircraft Landing Mat – ALM főbb jellemzői:²⁵

- alkalmas ideiglenes, félállandó le- és felszállási területek létesítésére;
- megakadályozza az idegen tárgy okozta rongálódást – Foreign Object Damage (FOD);
- csökkenti a „brownout” hatást;
- jól láthatóan jelzi a megengedett leszállási területet;
- biztonságos leszállóhely több repülőgép részére is;
- biztonságos munkavégzési, rakodási feltételeket biztosít a földi személyzet részére;
- fokozott talaj (föld) és környezetvédelem;
- elősegíti a többszöri leszállást ugyanazon a helyen;
- könnyen telepíthető és visszatelepíthető minimális munkaerővel;
- újrafelhasználható, újrahasznosítható és hosszú élettartamú.

A standard le- és felszállópálya kialakításához az ALM (S-series) panelt alkalmazzák.



14. sz. ábra Az ALM (S-series) panel³¹

²⁹ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 2. oldal. 2014.02.02.

³⁰ A légi közlekedésben a „brownout” (vagy „brown-out”) hatás a repülési látási viszonyok csökkenését jelenti a levegőben felkavart por vagy homok hatására.

³¹ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 2. oldal. 2014.02.02.



Megnevezés	Teljes panel	Fél panel
Szélesség	355 mm	355 mm
Hosszúság	2,66 m	1,33 m
Magasság	31 mm	31 mm
Tömeg	21,22 kg	10,8 kg
Tömeg + festés	+ 1,1 kg/m ²	+ 0,6 kg/m ²
Teljesség	Eloxált, festett, csúszásmentes (opció)	

6. táblázat Az ALM (S-series) panel adatai³²

A komplett készlet jellemző adatait, tartozékait az alábbi táblázat foglalja össze.

Megnevezés	Mennyiség
A készlet méretei	
Szélesség	22 m
Hosszúság	1600 m
Magasság	31 mm
Tömeg	839 341 kg
A készlet fő részei	
Teljes panel	37 136 db
Fél panel	3376 db
Horgonyzó cövek	500 db
A komplett készlet járulékos anyagai	
Neoprén membrán	38 448 m ²
Légi szállítható raklap	400 db

7. táblázat Az ALM készlet főbb paramétereit³³

Készletezési szempontok

Az ALM készlet 400 db NATO szabványos raklapon került elhelyezésre, amelyek gépjárművel, légi, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel juttatható a felhasználás helyére.

Tevékenység	Feladatok	Idő	Munkaerő
Előkészítés	A terület megtisztítása A panelek előkészítése	3–60 óra 2 óra	8 fő + 1 tts.
Kijelölés	A leszállóhely területének kijelölése	0,5 óra	2 fő + 1 tts.
Telepítés	A membrán telepítése A panelek telepítése	0,5 óra 1,5 óra	8 fő + 1 tts. 8 fő + 1 tts.
Rögzítés	A rögzítő tüskék beverése elektromos kalapáccsal	3,0 óra	2 fő + 1 tts.
Navigációs segédeszközök telepítése	Navigációs segédeszközök, jelölések kialakítása	1,0 óra	2 fő + 1 tts.
Teljes telepítés		Minimum: 11,5 óra Maximum: 68,5 óra	8 fő + 1 tts.

8. táblázat A telepítés feladatai és időnormái³⁴

³² Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 3. oldal. 2014.02.02.

³³ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 3. oldal. 2014.02.02.

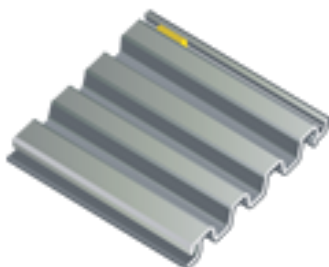
³⁴ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 4. oldal. 2014.02.02.



15. ábra Az elkészült le- és felszállópálya³⁵

ALM PSA panel alkalmazás³⁶

A PSA panelekből szintén 22 m széles és 1600 m hosszúságú le- és felszállópálya építhető ki. Az alumíniumból készült panel képes elviselni akár $56\,245\text{ kg/m}^2$ (80 PSI) terhelést – a gumiabroncsnyomástól és CBR-től (Californian Bearing Ratio) függően.



16. ábra PSA panel³⁷



17. ábra A panel oldalnézete³⁵

Telepítése kézi erővel történik. A kialakított pályaszerkezet alkalmas a következő típusú, vagy ezzel, azonos paraméterekkel rendelkező repülőgépek fogadására, indítására: C-130, Harrier, az összes forgószárnyas repülőgép.

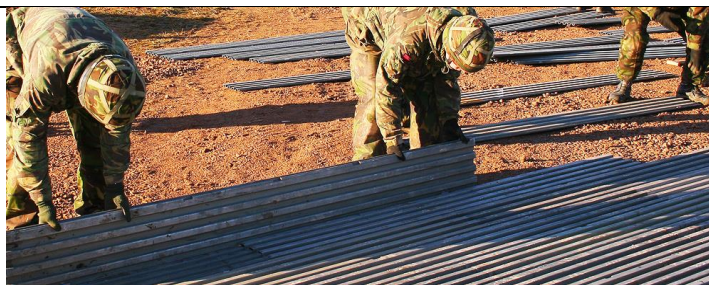
Megnevezés	PSA panel
Szélesség	250 mm
Hosszúság	2,74 m
Magasság	22 mm
Tömeg	10,6 kg
Tömeg + festés	+ 1,75 kg
Teljesség	Eloxált, festett, csúszásmentes (opció)

9. táblázat Az ALM PSA panel főbb adatai³⁵

³⁵ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/aircraft-landing-mat/>, 2014.03.09.

³⁶ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 5–8. oldal. 2014.02.02.

³⁷ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_Fast_Facts_EN.pdf, 2. oldal. 2014.03.02.



16. ábra A PSA panelek telepítése³⁸

A komplett készlet főbb méreteit az alábbi táblázat összegzi.

Megnevezés	Mennyiség
A készlet méretei	
Szélesség	22 m
Hosszúság	1600 m
Magasság	22 mm
A panel mennyisége	54 670 db
Tömeg	839 341 kg

10. táblázat A komplett készlet adatai³⁹

Készletezési szempontok

A készlet kisebb méretei miatt „csak” 280 db NATO szabványos raklapon került elhelyezésre, amelyek gépjárművel, légi, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel juttatható a felhasználás helyére.

HLM – Helicopter Landing Mat^{40,41,42}

A Helicopter Landing Mat – HLM készlet lehetővé teszi a művelési, illetve katasztrófa sújtotta területen ideiglenes le- és felszálló-, illetve állóhelyek létrehozását a helikopterek és a függőlegesen fel- és leszálló – VTOL repülőeszközök részére, ahol nincs idő, vagy nem követelmény az állandó repülőtér megléte.

A különböző panelprofilok – Load Classification Number (LCN) – terhelés osztályozási szám – alapján különböző repülőeszközök le- és felszállását képesek biztosítani. A HLM készlet NATO szabványos raklapokon került elhelyezésre, amelyek rövid idő alatt gépjárművel, légi, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel juttathatók el a felhasználás helyére. A HLM hőálló, így képes ellenállni a sugárhajtómű okozta rendkívüli igénybevételeknek is.

A Helicopter Landing Mat – HLM készlet az alábbi az öt elemet foglalja magába:³⁹

- TRACKWAY panelek: kézzel könnyen össze- és szétszerelhető alumínium panelek;
- Készletezés: panelek tárolása és szállítása NATO szabványos raklapon történik;
- Szerelő készlet: azon eszközök, melyek szükségesek a panelek telepítéséhez, visszatelepítéséhez;

³⁸ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/alm_slider3.jpg, 2014.03.09.

³⁹ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_Fast_Facts_EN.pdf, 5–6. oldal. 2014.03.02.

⁴⁰ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/helicopter-landing-mat/>, 2014.02.02.

⁴¹ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_Fast_Facts_EN.pdf, 2014.02.02.

⁴² Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_technical_data.pdf, 2014.02.02.

- Rögzítő tüskék: biztosítják a panelek talajhoz történő rögzítését;
- Membrán: geotextil membrán, melyet a panelek alá helyeznek a porképződés megakadályozására, csökkenti „brownout” hatást és védi a paneleket.

A Helicopter Landing Mat – HLM főbb jellemzői:³⁹

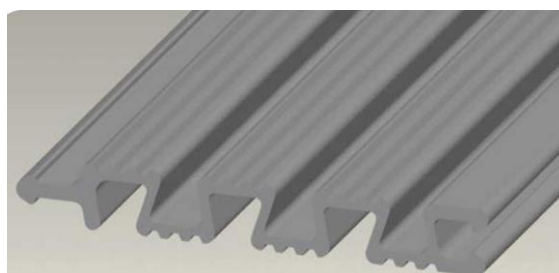
- alkalmas ideiglenes, félállandó le- és felszállási területek létesítésére;
- megakadályozza az idegen tárgy okozta rongálódást – Foreign Object Damage (FOD);
- csökkenti a „brownout” hatást;
- jól láthatóan jelzi a megengedett leszállási területet;
- biztonságos leszállóhely több repülőgép részére is;
- biztonságos munkavégzési, rakodási feltételeket biztosít a földi személyzet részére;
- fokozott talaj (föld) és környezetvédelem;
- elősegíti a többszöri leszállást ugyanazon a helyen;
- könnyen telepíthető és visszatelepíthető minimális munkaerővel;
- újrafelhasználható, újrahasznosítható és hosszú élettartamú.

HLM MLC 70 PANEL ALKALMAZÁS

A függőlegesen le- és felszálló repülőeszközök részére a biztonságos le- és felszálláshoz elegendő egy 30x30 méteres síkterület.

A berendezett le- és felszállóhely alkalmas a következő típusú vagy ezekkel azonos paraméterekkel rendelkező repülőeszközök fogadására, indítására:

- Könnyű megfigyelő helikopter – például Gazella;
- Könnyű többrendeltetésű helikopter – például Hiúz;
- Páncéltörő helikopter – például Apache;
- Harci helikopter – például Kobra;
- Könnyű támogató helikopter – például Merlin, Puma, Sea King;
- Közepes támogató helikopter – például Chinook.



17. ábra Az MLC 70 panel kialakítása⁴³

Megnevezés	Teljes panel	Fél panel
Szélesség	4,572 m	2,286 m
Hosszúság	228 mm	228 mm
Magasság	31 mm	31 mm
Tömeg	33,11 kg	16,6 kg

11. táblázat Az MLC 70 panel adatai⁴²

⁴³ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_technical_data.pdf, 2–4. oldal. 2014.02.02.



Megnevezés	Mennyiség
A készlet méretei	
Szélesség	30 m
Hosszúság	30 m
Magasság	31 mm
A készlet fő részei	
Teljes panel	858 db
Fél panel	143 db
Hosszú burkoló panel „anya”	6 db
Hosszú burkoló panel „apa”	6 db
Rövid burkoló panel „anya”	1 db
Rövid burkoló panel „apa”	1 db
Horgonyzó cövek	90 db
A komplett készlet járulékos anyagai	
Neoprén membrán	1000 m ²
Légi szállítható raklap	6 db

12. táblázat A komplett készlet főbb adatai⁴⁴

Készlet telepítése szakképzett állománnyal rövid idő alatt végrehajtható.

Tevékenység	Feladatok	Idő	Munkaerő
Előkészítés	A terület megtisztítása A panelek előkészítése	3–60 óra 2 óra	8 fő + 1 tts.
Kijelölés	A leszállóhely területének kijelölése	0,5 óra	2 fő + 1 tts.
Telepítés	A membrán telepítése A panelek telepítése	0,5 óra 2,5 óra	8 fő + 1 tts. 8 fő + 1 tts.
Rögzítés	A rögzítő tüskék beverése elektromos kalapáccsal	2,0 óra	4 fő + 1 tts.
Navigációs segédeszközök telepítése	Navigációs segédeszközök, jelek kialakítása	1,0 óra	2 fő + 1 tts.
Teljes telepítés		Minimum: 11,5 óra Maximum: 68,5 óra	8 fő + 1 tts.

13. táblázat A telepítés feladatai és időnormái⁴³

A kialakított készletet 8 db Ferguson-féle raklapon került elhelyezésre, amelyek gépjárművel, légi, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel juttatható a felhasználás helyére. A telepítés, visszatelepítés kézi erővel történik.



18. ábra Az elkészült le- és felszállóhely⁴⁵

⁴⁴ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, 1–4. oldal. 2014.02.02.

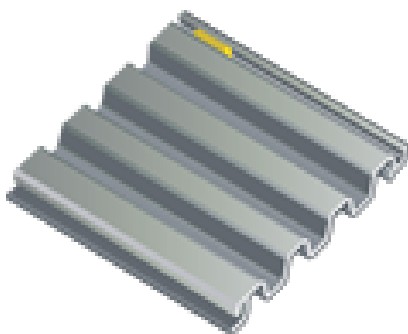
⁴⁵ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/helicopter-landing-mat/>, 2014.03.09.

Rendelhető extrák:

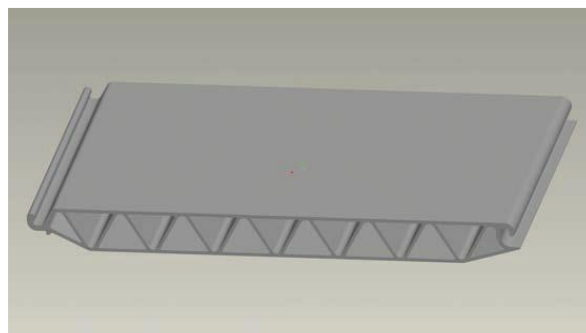
- Repülőtéri világítás;
- Hőálló festékekkel festett panelek;
- Texturált festés, csúszásmentes felület;
- Előre festett jelölések.

HLM PSA ÉS A HLM ALM PANEL ALKALMAZÁSOK

Mindkét paneltípus alkalmazásával – a HLM MLC 70 panelekhez hasonlóan – 30x30 méteres le- és felszállóhely alakítható ki.



19. ábra PSA panel⁴⁶



20. ábra ALM panel⁴⁷

Megnevezés	PSA panel ⁴⁵	ALM panel ⁴⁶
Szélesség	250 mm	350 mm
Hosszúság	2,64 m	2,64 m
Magasság	22 mm	31 mm
Tömeg	10,6 kg	22 kg

14. táblázat A panelek főbb adatai

⁴⁶ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_Fast_Facts_EN.pdf, 2–6. oldal. 2014.03.02.

⁴⁷ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_technical_data.pdf, 8–9. oldal. 2014.02.02.



Megnevezés	PSA panel ⁴⁸	ALM panel ⁴⁷
A komplett készletek méretei		
Szélesség	30 m	30 m
Hosszúság	30 m	30 m
Magasság	22 mm	31 mm
A készletek fő részei		
Teljes panel	1212	990 db
Fél panel	-	90 db
Hosszú burkoló panel „anya”	-	11 db
Hosszú burkoló panel „apa”	-	11 db
Rövid burkoló panel „anya”	-	1 db
Rövid burkoló panel „apa”	-	1 db
Horgonyzó cövek	180 db	180 db
Fél panel jobbos	62 db	-
Fél panel balos	63 db	-
Oldalrögzítő panel jobbos	44 db	-
Oldalrögzítő panel balos	44 db	-
Végrögzítő panel 6 lyukas	36 db	-
Végrögzítő panel 4 lyukas	4 db	-
A komplett készletek járulékos anyagai		
Neoprén membrán	1000 m ²	
Légi szállítható raklap	6 db	

15. táblázat A komplett készlet főbb adatai

Tevékenység	Feladatok	Idő	Munkaerő
Előkészítés	A terület megtisztítása A panelek előkészítése	3–60 óra 2 óra	8 fő + 1 tts.
Kijelölés	A leszállóhely területének kijelölése	0,5 óra	2 fő + 1 tts.
Telepítés	A membrán telepítése A panelek telepítése	0,5 óra 1,5 óra	8 fő + 1 tts. 8 fő + 1 tts.
Rögzítés	A rögzítő tüskék beverése elektromos kalapáccsal	3,0 óra	4 fő + 1 tts.
Navigációs segédeszközök telepítése	Navigációs segédeszközök, jelölések kialakítása	1,0 óra	2 fő + 1 tts.
Teljes telepítés		Minimum: 11,5 óra Maximum: 68,5 óra	8 fő + 1 tts.

16. táblázat A készletek telepítésének feladatai és időnormái⁴⁷

A kialakított készletek szintén 8 db Ferguson-féle raklapon kerültek elhelyezésre, amelyek gépjárművel, légi, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel juttatható a felhasználás helyére. A telepítés, visszatelepítés itt is kézi erővel történik.

⁴⁸ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_technical_data.pdf, 6–10. oldal. 2014.02.02.



21. ábra A PSA elemek telepítése⁴⁹



22. ábra Az elemek rögzítése⁴⁸



23. ábra A PSA panelekből elkészült le- és felszállóhely⁴⁸

Rendelhető extrák:

- repülőtéri világítás;
- hőálló festékekkel festett panelek;
- texturált festés, csúszásmentes felület;
- előre festett jelölések.

UAVLM – UAV Landing Mat^{50 51 52}

A FAUN UAV Landing Mat – UAVLM készlet lehetővé teszi a műveleti, illetve katasztrófa sújtotta területen ideiglenes le- és felszállópályák, gurulótutak, állóhelyek létrehozását az UAV repülőeszközök részére, ahol nincs idő, vagy nem követelmény az állandó repülőtér megléte. A kialakított alkalmazás teljes mértékben kompatibilis a fékező (vészmegállító) berendezéssel.

A fejlesztés az ausztrál haderő részére történt. A készlet raklapokon került elhelyezésre, mely gépjárművel, légi, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel juttatható rövid idő alatt a felhasználás helyére. Építése és bontása kézi erővel történik. Többször felhasználható, telepítésekor minimális talaj előkészítést, karbantartást igényel.

⁴⁹ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/helicopter-landing-mat/>, 2014.03.09.

⁵⁰ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/uav-landing-mat/>, 2014.03.09.

⁵¹ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/UAV_UK_Eng.pdf, 2014.02.02.

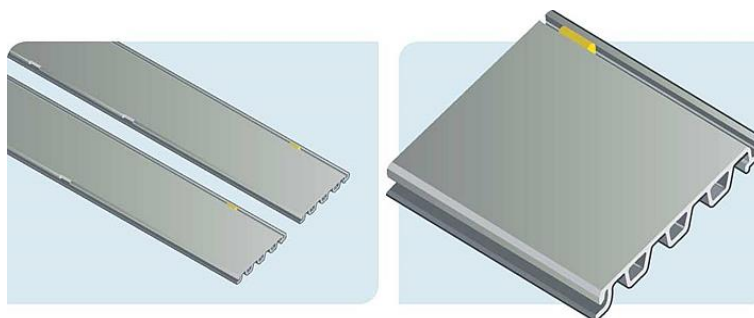
⁵² Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/FAUN_UK_Brochure.pdf, 2014.02.02.

Az UAVLM – UAV Landing Mat készlet alkotó elemei megegyeznek a Helikopter Landing Mat-nél ismertetett öt elemmel.

Az UAV Landing Mat főbb jellemzői:⁵⁰

- alkalmas ideiglenes, fél-állandó le- és felszállási területek létesítésére;
- megakadályozza az UAV idegen tárgy okozta rongálódását – Foreign Object Damage (FOD);
- teljes mértékben kompatibilis a fékező (vészmegállító) berendezéssel;
- jól láthatóan jelzi a megengedett leszállási területet;
- biztonságos leszállóhely több UAV repülőeszköz részére is;
- biztonságos munkavégzési, rakodási feltételeket biztosít a földi személyzet részére;
- fokozott talaj (föld) és környezetvédelem;
- elősegíti a többszöri leszállást ugyanazon a helyen;
- könnyen telepíthető és visszatelepíthető minimális munkaerővel;
- újrafelhasználható, újrahasznosítható és hosszú élettartamú.

Az alumíniumból készült PSA FLAT TOP panel képes elviselni akár 56 245 kg/m² (80 PSI) terhelést – a gumiabroncsnyomástól és CBR-től (Californian Bearing Ratio) függően.



24. ábra A PSA FLAT TOP panel kialakítása⁵⁰

Megnevezés	Teljes panel
Szélesség	243 mm
Hosszúság	2,64 m
Magasság	23,5 mm
Tömeg	11,9 kg
Össztömeg	18,6 kg/m ²

17. táblázat A PSA FLAT TOP panel adatai⁵³

A jelenlegi standard le- és felszállópálya 15 m széles és 390 m hosszú, a teljes területe 5850 m². Az UAV Landing Mat készlet bármilyen méretű vagy tömegű UAV számára alkalmassá tehető (igény szerint) a le- és felszállásra.

Az első eszközkészlet, melyet kimondottan az UAV repülőeszközök biztonságos le- és felszállásához terveztek.

⁵³ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/UAV_UK_Eng.pdf, 2. oldal. 2014.02.02.



Megnevezés	Mennyiség
Szélesség	15 m
Hosszúság	390 m
Magasság	23,5 mm

18. táblázat A komplett készlet méretei⁵²

PSA FLAT TOP panelek galvanizáltak és speciális bevonattal rendelkeznek a tartósság, a korrózió elleni védelem, az álcázás hatékonyságának, illetve a tükröződés csökkentése érdekében. A panelek talajhoz történő rögzítését biztosító elemek a készlet részét képezik.



25. ábra UAV Landing Mat fékező hálóval (vészmegállító berendezéssel)⁵⁴

Opcionális kiegészítő eszközök közé tartoznak a világítási rendszerek, felfestett jelzések, a talajstabilizációs membrán, a raklapok mozgatását segítő emelőpántok, az elektromos kalapács, fúró, adapterek, generátorok, a hő védőkesztyű, illetve a fékező (vészmegállító) berendezés.

Az első eszközkészlet, melyet kimondottan az UAV repülőeszközök biztonságos le- és felszállásához terveztek.

A készlet 8 db légi úton is szállítható raklapokon került elhelyezésre, mely gépjárművel, vasúti, tengeri szállítóeszközökkel is rövid idő alatt a felhasználás helyére juttatható.



26. ábra Landolás a megépített le- és felszállópályán⁵⁵

⁵⁴ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/uav-landing-mat/>, 2014.03.09.

⁵⁵ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/UAV_UK_Eng.pdf, 1. oldal. 2014.03.09.



RRR – Rapid Runway Repair^{56 57 58}

A repülőtereket ért támadás következtében rongálódott le- és felszállópályák, -helyek, gurulóutak javítása kiemelten fontos feladata a repülőtéri károk helyreállításának. Az ezzel kapcsolatos feladatokat a NATO STANAG 2929 – Airfield Damage Repair (ADR) részletesen tartalmazza.

Az ellenséges csapást követően a légi műveletek folytatásához elengedhetetlen a kárt szenvedett repülőtér a repülőeszközök indítását, fogadását biztosító – Minimális Működési Sáv (Minimum Operating Strip – MOS) – le- és felszállópályák, gurulóutak gyors helyreállítása.

E feladat megoldásának egyik nagyon hatékony eszköze a FAUN által kifejlesztett RRR – Rapid Runway Repair rendszer. A rendszer egyik alapeleme a Bomb Damage Repair Mat – BDRM készlet, mely alkalmas a bombatölcsérek gyors javítására, ezáltal a repülőtér működőképességének rövid idő alatt történő helyreállítására. A készlet hosszú élettartamú és minimális karbantartást igényel, többször felhasználható. Alaprendeltetése mellett alkalmas helikopter le- és felszállóhely kialakítására, illetve különböző repülőeszközök állóhelyeinek létesítésére is.

A Rapid Runway Repair rendszer alkalmas a repülőtéri károk kritikus szakaszainak gyors javítására, a légi műveletek gyors újrakezdése érdekében.

A Rapid Runway Repair készlet az alábbi elemeket tartalmazza:⁵⁹

- BOMB DAMAGE REPAIR MAT – BDRM, mely az MLC 70 típusú alumínium panel-elemekre épül és mérete 16x22 méter;
- BDRM TRAILER – egy speciális kialakított trailer a BRDM szállítására, telepítési pozícióba helyezésére;
- Telepítő felszerelés – a BDRM szakszerű telepítéséhez szükséges elemek, felszerelések. (szerelőkészletek, feszítőszerelék, rögzítő tuskék, oldal- és végzáró panelek.)
- Tömörítő gép – a bombatölcsér feltöltésére használt töltőanyag tömörítése a BRDM telepítéséhez szükséges szilárd alap létrehozása érdekében;
- Lehúzó (simító) gerenda – a feltöltött és tömörített bombatölcsér felületének lesimítása.

A Bomb Damage Repair Mat készletet azzal a céllal tervezték, hogy a sérült repülőtereken rövid idő alatt – a keletkezett bombatölcsérek feltöltése, tömörítése után – képes legyen egy olyan egyenletes felület kialakítására, amelyen repülőeszközök gurulni, illetve le- és felszállni képesek.

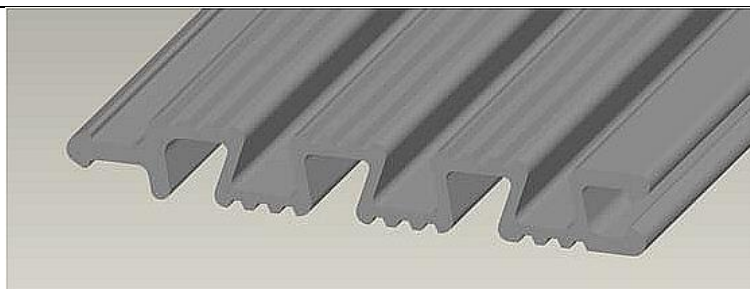
A Bomb Damage Repair Mat az MLC 70 típusú teljes- és félpanel elemekből épül fel. Az összeszerelt BDRM egy speciális trailer orsójára kerül feltekerésre, amely a tárolásra, szállításra és a telepítési pozícióba történő beállításra szolgál. Telepítéskor a tekercset pozícionálják, a talajra helyezik géppel, majd kézi erővel kiterítik. A talajon kifektetett „szőnyeget” először kifeszítik, majd cövekekkel rögzítik.

⁵⁶ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/rapid-runway-repair/>, 2014.02.02.

⁵⁷ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/RRR_Fast_Facts_EN.pdf, 2014.02.02.

⁵⁸ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/RRR_technical_data.pdf, 2014.02.02.

⁵⁹ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/rapid-runway-repair/>, 2014.03.09.



27. ábra A BDRM (MLC 70) panel kialakítása⁶⁰

A standard Bomb Damage Repair Mat – 22x16 méter – készlet 104 panelsort tartalmaz, melyek soronként három teljes és egy félhosszúságú panelelemből állnak. (A készlet tervezési megoldása lehetővé teszi 2 db 11x16 méteres – Bomb Damage Repair Patches (BDRP) – a felület kialakítását is.)

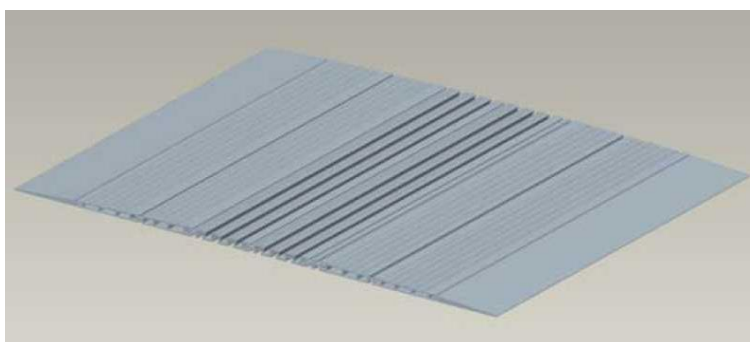
Megnevezés	Teljes panel	Fél panel
Szélesség	4,572 m	2,286 m
Hosszúság	228 mm	228 mm
Magasság	31 mm	31 mm
Tömeg	33,11 kg	16,6 kg

19. táblázat A BDRM (MLC 70) panel adatai⁶¹

Megnevezés	Mennyiség
Szélesség	16 m
Hosszúság	22 m
Magasság	31 mm
Átmérő (feltekert állapotban)	1,2 m
Tömege	125 000 kg

20. táblázat A komplett készlet méretei⁶²

Az elemek esetleges sérülése esetén azok kézi erővel gyorsan cserélhetők. Az oldal és végzáró panelek kialakításuk révén biztosítják a repülőeszközök „szőnyegre” történő zökkenőmentesen fel- és lehajtást.



28. ábra BDRM az új fel- és lejárórészsel⁶¹

⁶⁰ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/RRR_technical_data.pdf, 5. oldal. 2014.02.02.

⁶¹ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HGMS_technical_data_sheet_UK.pdf, 3. oldal. 2014.03.02.

⁶² Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/RRR_technical_data.pdf, 4–5. oldal. 2014.03.09.

A BDRM terhelési besorolása:

- terhelés osztályozási szám: 45;
- terhelés osztályozási csoport: IV.

Megnevezés	BDRM	BDRP
Teljes panel a rögzítő tuskékkal	312 db	156 db
Fél panel a rögzítő tuskékkal	104 db	52 db
Végburkoló teljes panel „apa”	6 db	3 db
Végburkoló fél panel „apa”	2 db	1 db
Végburkoló teljes panel „anya”	6 db	3 db
Végburkoló fél panel „anya”	2 db	1 db
Rögzítő csavarok hatlapfejű M10x190 mm, védőpajzsok, távtartó elemek és alátétek (aszfalt+betonburkolathoz)	112 db	56 db
Rögzítő csavarok hatlapfejű M10x102 mm, védőpajzsok, távtartó elemek és alátétek (normál betonburkolathoz)	112 db	56 db
Rögzítő csavarok hatlapfejű (teljes aszfalt burkolathoz)	112 db	56 db
Feszítő (szállító, mozgató) heveder	4 db	2 db
Telepítő állvány	4 db	2 db

21. táblázat A BDRM és a BDRP készletek fő részei⁶³

A BDRM készlet dobon felcsévélve állapotban tárolva nem igényel különösebb karbantartást. Telepítés után rendszeresen ellenőrizni kell az állapotát. Amennyiben a panelek megsérültek, a rögzítés fellazult, illetve a „szőnyeg” alatt üregek keletkeztek a hibákat azonnal meg kell szüntetni, ki kell javítani. A készlet használat után könnyen visszatelepíthető és újra alkalmazható. Igény szerint raklapra málházott készletek is rendelkezésre állnak.



29. ábra Felszállásra készen⁶⁴

BEFEJEZÉS

Összegzésként leszögezhető, hogy a FAUN által fejlesztett mobilitást támogató rendszer, egy innovatív megoldás a járművek és repülőgépek szárazföldi mozgékonyságának fenntartása, biztosítása érdekében. Az eszközpark ideiglenes „mozgási pályafelületet” biztosít a különböző technikai eszközök számára a puha, sáros, mocsaras, havas, homokos (fövenyes) tengerparti

⁶³ Forrás: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/RRR_technical_data.pdf, 5. oldal. 2014.03.09.

⁶⁴ Forrás: <http://fauntrackway.co.uk/rapid-runway-repair/>, 2014.02.02.

vagy sivatagi terepen egyaránt. Sokrétűen alkalmazható, könnyen telepíthető, bontható, többször felhasználható, minimális karbantartást igényel. Katonai alkalmazása mellett kiválóan felhasználható katasztrófavédelmi feladatok megoldása során is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Orosz Zoltán: „A helikopterek katonai alkalmazásának lehetőségei és a katonai alkalmazás valósága Magyarországon.” (online) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/orosz_zoltan.pdf. (2009.02.06.)
- [2] Joint Publication 1-02 Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms. (online) url: http://jtitc.fhu.disa.mil/jtitc_dri/pdfs/jp1_02.pdf, 352. oldal. (2014.03.02.)
- [3] JP 3-17 Air Mobility Operations, (online) url: http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp3_17.pdf, viii. oldal. (2014.03.02.)
- [4] Katonai lexikon, Főszerkesztő: Damó László, Budapest, Zrínyi Katonai Kiadó, 1985. ISBN 963-326-178-3
- [5] STANAG 2929 – Repülőtéri károk helyreállítása. MH Légierő Vezérkar Kiadványa. 2001. 6. oldal.
- [6] Segédlet: A katonai repülőterek fogadókésztségének megállapításához a szilárd burkolatok teherbírása alapján. HM Katonai Légügyi Hivatal, 1999. 5. oldal.
- [7] url: <http://416th.com/PSP.JPG>, (2014.03.03.)
- [8] url: http://assets.nydailynews.com/polopoly_fs/1.1571353!/img/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/landscape_635/columbia-air-force-kentucky.jpg, (2014.03.01.)
- [9] url: http://cdn2.sulitstatic.com/images/2012/1008/232507250_231648493d302f70820bb95d92f7bc460f0f937807b1d5717.jpg, (2014.03.03.)
- [10] url: http://en.wikipedia.org/wiki/Marsden_Matting, (2014.03.02.)
- [11] url: <http://fauntrackway.co.uk/aircraft-landing-mat/>, (2014.02.02.)
- [12] url: <http://fauntrackway.co.uk/helicopter-landing-mat/>, (2014.02.02.)
- [13] url: <http://fauntrackway.co.uk/rapid-runway-repair/>, (2014.02.02.)
- [14] url: <http://fauntrackway.co.uk/uav-landing-mat/>, (2014.03.09.)
- [15] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_Fast_Facts_EN.pdf, (2014.02.02.)
- [16] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/alm_slider3.jpg, (2014.03.09.)
- [17] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/ALM_technical_data.pdf, (2014.02.02.)
- [18] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/FAUN_UK_Brochure.pdf, (2014.02.02.)
- [19] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HGMS_technical_data_sheet_UK.pdf, (2014.03.02.)
- [20] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_Fast_Facts_EN.pdf, (2014.02.02.)
- [21] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/HLM_technical_data.pdf, (2014.02.02.)
- [22] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/MGMS_Fast_Facts_EN.pdf, (2014.03.02.)
- [23] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/RRR_Fast_Facts_EN.pdf, (2014.02.02.)
- [24] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/RRR_technical_data.pdf, (2014.02.02.)
- [25] url: http://fauntrackway.co.uk/wp-content/uploads/2013/09/UAV_UK_Eng.pdf, (2014.02.02.)
- [26] url: <http://forum.12oclockhigh.net/showthread.php?t=18611&page=3>, (2013.03.02.)
- [27] url: http://pwencycl.kgbudge.com/M/a/Marston_Mat.htm, (2014.03.03.)
- [28] url: <http://spitfiresite.com/2010/04/raf-airfields-in-mainland-europe-1944-45.html>, (2013.03.03.)
- [29] url: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/F-4G_81st_TFS_serviced_at_Spangdahlem_1990.JPG, (2014.03.01.)
- [30] url: <http://www.andersen.af.mil/shared/media/photodb/web/2012/09/120830-F-NA975-008.JPG>, (2014.03.01.)
- [31] url: http://www.army-technology.com/contractors/air_support/faun-trackway/, (2013.03.09.)
- [32] url: http://www.globalsecurity.org/military/world/iraq/images/camp-korean-village_vicinity_2004815185122.jpg, (2014.03.01.)
- [33] url: http://www.kalaszestigimi.hu/upload/fizika/1_2_kinematika_mozgasok-leirasa.pdf, (2014.03.01.)

Csengeri János¹

A KATONAI REPÜLŐTEREK POLGÁRI – KATONAI FELHASZNÁLÁS (ÜZEMELTETÉS) HAZAI JOGSZABÁLYI HÁTTERÉNEK BEMUTATÁSA²

A katonai repülőtereknek alacsony a kihasználtsága. A helyi, katonai repülések kiszolgálása érdekében a repülőtéri berendezéseknek és személyzetnek ugyanúgy 24 órában rendelkezésre kell álljanak, mintha nagyobb, polgári forgalmat is kiszolgálva kellene üzemelniük. A jelenleg üzemelő katonai repülőterek alapterülete és főbb infrastrukturális elemei megfelelőek a civil forgalom számára is, illetve új kiszolgálóhelyek létesítésére is van lehetőség. A jelenlegi gazdasági környezetben munkahelyteremtő célkitűzésekkel összhangban a repülésben rejlő gazdasági lehetőségek ki kell használni.

THE HOME LEGAL BACKGROUND OF THE JOINT (PUBLIC – MILITARY) SERVICE OF THE MILITARY AERODROMES

The utilization level of the home military aerodromes are low. The personnel and the equipment shall be ready in 24 hours handling the local military traffic as if they should serve extra movements. The military aerodromes' - that are functioning currently - range and main infrastructural elements are compatible for civil air traffic and the establishing of new facilities are also possible. In the present economic environment and in synch of the government's place of work generative intentions the economic potential inhere the air traffic is must be taken.

TÉMAFELVETÉS

A repülőgépek a legnagyobb biztonságban földön tartózkodásuk idején vannak. Ez az időszak biztosítja a lehetőséget arra, hogy a légi járműveket feltöltsék az üzemeléshez szükséges anyagokkal, elvégezzék a kötelező átvizsgálásokat, esetleges javításokat, beszállítsák az utasaikat, és olyan felületű, teherbírású és a megfelelő berendezésekkel ellátott műtárgyra irányítsák, amelyről a felszállás biztonságosan végrehajtható. Ez a létesítmény, amely a biztos pontot adja a légi közlekedéshez, a repülőtér, mely navigációs és fénytechnikai berendezései a leszálláskor is kritikusan fontos segítséget nyújtanak. A zavartalan, biztonságos és szakszerű üzemelést olyan repülőtéri szolgálatok biztosítják, mint a repülőréti tűzoltó szolgálat, a repülőtér-karbantartó szolgálat, a híradó ügyeletési szolgálat, a repülés-bejelentő iroda, a meteorológiai szolgálat és a légiforgalmi irányító szolgálat.

Jelenleg Magyarországon öt nemzetközi (és számos egyéb nyilvános) polgári repülőtér üzemel, a fővárosban a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér; Debrecenben a Debrecen Nemzetközi Repülőtér; Péren a Győr-Pér Repülőtér; Sármelléken a Hévíz-Balaton Airport és Pogányban a Pécs-Pogány Airport. Ezek közül csak a budapesti bonyolít több milliós utasforgalmat évente, a többi százezer alattit, néhány tízezreset.

¹ hadnagy, gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, csengeri.janos@uni-nke.hu

² Dr. Palik Máttyás alezredes, tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu



Ezeknek a kereskedelmi repülőtereknek a fenntartási költségei azonban utas és áruforgalomtól függetlenül adottak. Folyamatos karbantartás, ellenőrzés szükséges, valamint a repülőtéri szolgáltatások fenntartása is elengedhetetlen, tehát a fix költségek jellemzően minden repülőtéren azonos tételekből állnak, viszont a repülőtér méretétől függően változnak.

Ezek az állandó költségek a Magyar Honvédség által üzemeltetett katonai (nem nyilvános, állami célú repüléseket kiszolgáló) repülőtereken, Pápán, Kecskeméten és Szolnokon is ugyan úgy megjelennek, mint az előbb említett polgári nemzetközi repülőtereken, ráadásul a katonai repülőtereken a fent említett szolgáltatásokat 24 órában, a hét minden napján biztosítják. Ezen repülőtéri kapacitások olyan lehetőségeket rejtjenek, amelyeket pazarlás lenne kiaknázatlanul hagyni.

Amikor a közös felhasználású repülőterekről beszélek, általában a pápaira gondolok, de mindhárom jelenleg üzemelő repülőteret érdemes megvizsgálni a későbbiekben.

JOGSZABÁLYOK BEMUTATÁSA³

A 1995. évi XCVII. törvény a légiközlekedésről

A törvény szerinti osztályozás alapján a repülőtér lehet *nyilvános repülőtér*, amelyet azonos feltételekkel bárki igénybe vehet. *Kereskedelmi repülőtér*, a rendszeres utas, poggyász, áru és posta továbbítását végző légi forgalom céljaira létesített nyilvános repülőtér; *nem kereskedelmi repülőtér*, a kereskedelmi repülőtér fogalmán meghatározottakon kívül minden más nyilvános repülőtér. *Nem nyilvános repülőtér*: amely a tulajdonos, illetve az üzemben tartó engedélye alapján vehető igénybe, és amely lehet *polgári célú nem nyilvános repülőtér*, vagy *állami repülések céljára szolgáló repülőtér*.

A kereskedelmi repülőteret a közlekedésért felelős miniszter határozatával nemzetközi repülőtérnek nyilváníthatja (nemzetközi kereskedelmi repülőtér).

A nemzetközi kereskedelmi repülőtér fejlesztésére és megszüntetésére a közlekedésért felelős miniszter a repülőtér hatásterületén lévő települési (a fővárosban a fővárosi és az érintett kerületi) önkormányzat véleményének figyelembevételével ad engedélyt. A települési önkormányzat véleményét a megkeresés kézbesítésétől számított 30 napon belül adja meg. A határidő eredménytelen eltelte esetén úgy kell tekinteni, hogy az önkormányzat a megkeresésben foglaltakkal egyetért.

Az *állami repülések céljára szolgáló repülőtér* létesítésére, fejlesztésére és megszüntetésére - az illetékes települési önkormányzat véleményének megkérésével - a honvédelemért felelős miniszter ad engedélyt.

A Kormány rendeletben határozza meg a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, továbbá a biztonsági, akadálymentes és a zajgátló védőövezet kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének a szabályait. Ezen szabályok részletes műszaki követelményeit, továbbá az üzemben tartás és üzemeltetés részletes szabályait a nyilvános és a polgári célú nem nyilvános repülőtér vonatkozásában a közlekedési miniszter, az állami repülések céljára szolgáló repülőtér

³ A jogszabályokból a releváns részeket emeltem ki.

esetében a honvédelemért felelős miniszter a tűzvédelmi feltételek tekintetében a katasztrófák elleni védekezésért felelős miniszterrel egyetértésben – a zajgátló védőövezetre vonatkozóan a környezetvédelemért felelős miniszterrel egyetértésben – rendeletben állapítja meg.

A repülőtér létesítésének vagy fejlesztésének megkezdése előtt azokat a terveket, amelyekből a tervezett légi forgalomnak a környezetre gyakorolt hatása (pl. akadálymentes övezet, zajhatás, a repülőtérrel kívül telepíteni kívánt berendezés) megismerhető, felszólalási határidő megadásával nyilvánosan közzé kell tenni.

A nyilvános repülőtér légi jármű által történő igénybevételeért díjat kell fizetni. A díjat a repülőtér üzemben tartója állapítja meg, és a légiforgalmi tájékoztató kiadványban (AIP – Aeronautical Information Publication) közzéteszi.

A repülőtér üzemben tartója és a repülőtér használója szerződésben (szolgáltatói megállapodás) állapodik meg a repülőtér használójának egyedi igénye szerinti szolgáltatás nyújtásáról, valamint a repülőtéri szolgáltatásoknak, termináloknak vagy azok egy részének a használati körének – az egyes terminálok vagy azok egy részének különleges használatra való fenntartása érdekében történő – meghatározásáról.

Az életmentő feladatot teljesítő, a légirendészeti szolgálatot ellátó és a katasztrófaelhárítást végző, továbbá a nem kereskedelmi tevékenységet teljesítő állami légi jármű a nyilvános repülőtérrel díjtalanul igénybe veheti.

A repülőtérrel a kényszerhelyzetben lévő légi jármű igénybe veheti, ehhez a repülőtér üzemben tartójának hozzájárulása nem kell. Ez a légi jármű a repülőtér használatáért díjat nem fizet.

7/2002. (I. 28.) KöViM rendelet a földi kiszolgálás feltételeiről és engedélyezésének rendjéről

A rendelet határoz a kereskedelmi repülőtereken végzett földi kiszolgálási tevékenységre, az e tevékenységet folytatókra vonatkozóan, továbbá a repülőtérrel üzemeltetőre terjed ki.

A földi kiszolgálás végzéséhez szükséges hatósági engedélyt (a továbbiakban: engedély) a Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatal (továbbiakban: légiközlekedési hatóság) adja ki. Engedély annak a gazdálkodó szervezetnek adható, amely igazolja a rendelet mellékleteiben meghatározott szakmai követelmények teljesítését.

Az engedélyt a légiközlekedési hatóság öt évre adja ki. Az engedély időbeli hatályát - a hatályának lejártáig benyújtott kérelem alapján - a légiközlekedési hatóság további öt évre meghosszabbítja, ha annak jogszabályi akadálya nincs, és az engedély megadásához az e rendeletben előírt feltételek továbbra is fennállnak.

Az engedélyt a légiközlekedési hatóság a rendelet mellékletében meghatározott egy vagy több tevékenységre, a Magyarország területén működő, meghatározott kereskedelmi repülőtérre, meghatározott légi jármű típusokra adja ki.

A kiszolgálókat a repülőtér üzemben tartója választja ki, kivéve, ha a repülőtér üzemben tartója az adott földi kiszolgálási tevékenységeket maga is végzi harmadik fél részére, vagy irányítása alatt olyan kiszolgáló áll, amely az adott földi kiszolgálási tevékenységeket végzi, vagy tulajdonosi érdekeltséggel rendelkezik az előző esetben meghatározott kiszolgálónál.



A kiszolgálók kiválasztása nyilvános pályázat útján történik. A pályázati felhívást a repülőtér üzemben tartója honlapján, a Magyar Közlöny mellékleteként megjelenő Hivatalos Értesítőben és az Európai Közösségek Hivatalos Lapjában közzé kell tenni.

27/2001. (XI. 23.) HM rendelet az állami repülések céljára szolgáló repülőtér és a katonai repülés céljára földön telepített léginavigációs berendezés üzemben tartásának feltételeiről

A rendelet szabályozza az állami repülések céljára szolgáló repülőterek és a katonai repülés céljaira földön telepített léginavigációs berendezések működtetését.

Az állami repülések céljára szolgáló repülőtér akkor tartható üzemben, ha rendelkezik a légi közlekedési hatóság által kiadott, hatályos üzemben tartási engedéllyel, a repülőtérrendet a hatóság jóváhagyta, a légijárművek biztonságos fel- és leszállásának, továbbá a repülőtéren való helyzetváltoztatásának feltételei biztosítottak. Létrehozták és működtetik a biztonságos használat érdekében szükséges szolgálatokat (pl. légiforgalmi, repülésmeteorológiai, tűzoltó, mentő, elsősegélynyújtó, repülőtér karbantartó, műszaki mentő). Továbbá a repülőtér kategóriája szerint a repülőtér zajgátló védőövezetét és azon belül a zajövezetek határait a 176/1997. Kormányrendeletben foglaltaknak megfelelően kijelölték.

A repülőtér üzemben tartását és az üzemben tartási engedélyben foglaltak megtartását a Hatóság – repülőtér szemle keretében – rendszeresen, de legalább évente egy alkalommal ellenőrzi.

A repülőtérrendet az állami repülések céljára szolgáló repülőtér üzemeltetője készíti, és a Hatóság hagyja jóvá.

A katonai repülések céljára földön telepített léginavigációs berendezés honvédelmi és rendvédelmi, valamint légiforgalmi segítségnyújtási célokat szolgál. A katonai repülések céljaira földön telepített léginavigációs berendezés üzemben tartásának feltétele a hatóság által kibocsátott, hatályos üzemben tartási engedély.

Az állami repülések céljára szolgáló repülőtér újonnan létesített, illetve telepített léginavigációs berendezéseinek konfigurációs változatait az illetékes szolgálati elöljáró (Honvéd Vezérkar) irányításával és közreműködésével kell megtervezni.

Az elkészített terv jóváhagyásáról a tervező kérelmére a Hatóság dönt. A konfigurációs változatok tervezése folyamatában figyelembe kell venni az adott repülőtérrel szemben támasztott hadműveleti-harcászati követelményeket, az érvényben lévő szakmai szabályokat, az ICAO (International Civil Aviation Organisation – Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet), illetve NATO (North Atlantic Treaty Organisation – Észak-atlanti Szerződés Szervezete) ajánlásokat, előírásokat, illetve a gyártó-forgalmazó cég vonatkozó előírásait, ajánlásait.

68/2011. (XI. 30.) NFM rendelet a léginavigációs és a légiközlekedés biztonságát szolgáló egyéb földi berendezések engedélyezési eljárásáról és hatósági felügyeletéről

A jogszabály hatálya kiterjed az EATMN (European Air Traffic Management Network – Európai Légiforgalmi Szolgáltatási Hálózat) – rendszerekre és rendszerelemekre, a polgári célú

légiközlekedés biztonságos, zavartalan végrehajtását szolgáló, egyéb földi berendezések telepítésére, üzemben tartására, módosítására, megszüntetésére, ellenőrzésére, valamint ezen tevékenységek hatósági engedélyezésére és felügyeletére.

Az EATMN rendszerek alatt értjük a:

1. légtér-gazdálkodási rendszereket és eljárásokat,
2. légiforgalmi áramlás szervezésének rendszereit és eljárásait,
3. légiforgalmi szolgálatok rendszereit és eljárásait, különösen a repülési adatokat feldolgozó rendszereket, a légtér-ellenőrzési adatokat feldolgozó rendszereket és az ember-gép interfészrendszereket,
4. távközlési rendszereket és eljárásokat a földi, a fedélzet és a földi irányítás közötti, valamint a fedélzetek közötti kommunikációhoz,
5. navigációs rendszereket és eljárásokat,
6. légtér-ellenőrző rendszereket és eljárásokat,
7. légiforgalmi tájékoztató szolgálatok rendszereit és eljárásait,
8. meteorológiai adatok felhasználására szolgáló rendszereket és eljárásokat.⁴

Frekvenciahasználati hozzájárulást kell kérni a légiközlekedési hatóságtól rádióberendezés fejlesztésére, rádióállomás és hálózat telepítésére, üzembe helyezésére, rádióállomás kísérleti üzembe helyezésére, próbaüzemére, frekvencia-, fedésterület és magasság változás esetében.

A rádióberendezések üzembe helyezése előtt legalább 90 nappal a hatóságtól frekvenciahasználati hozzájárulást kell kérni az előzetes nemzeti és nemzetközi frekvenciaegyeztetés, illetve frekvenciakoordináció lefolytatásához.

A 262/2009/EK bizottsági rendelet szerinti lekérdezési kód-kiosztási kérelmet legkésőbb a hatóság honlapján közzétett, az EUROCONTROL (Európai Szervezet a Légiközlekedés Biztonságáért) által megadott kiosztási időpont előtt 190 nappal kell benyújtani a hatósághoz.

Amennyiben az EATMN-rendszer vagy egyéb földi berendezés telepítése az érintett ingatlanban építési engedélyhez kötött változtatással jár, vagy a telepítéshez építési engedélyhez kötött új létesítmény szükséges, továbbá, ha a telepítés a közműhálózat változásával jár, telepítési engedély iránti kérelmet kell benyújtani a hatósághoz.

A telepítési engedély iránti kérelmet a telepítő, EATMN-rendszer esetében a későbbi léginavigációs szolgáltató, egyéb földi berendezés esetében a későbbi üzemben tartó nyújthatja be a hatósághoz.

Az EATMN-rendszer üzembe helyezéséhez a léginavigációs szolgáltatónak, egyéb földi berendezés üzembe helyezéséhez az üzemben tartónak a hatósághoz üzemben tartási engedély iránti kérelmet kell benyújtania.

Légiforgalmi földi rádióállomás kezeléséhez a hatóság által kiadott rádióállomás kezelői engedély szükséges. A légiforgalmi irányító vagy repüléstájékoztató szakszolgálati engedéllyel és érvényes munkahelyi kiterjesztéssel rendelkező személy rádióállomás kezelői engedély nélkül is jogosult légiforgalmi földi rádió kezelésére.

⁴ AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 552/2004/EK RENDELETE 1. Melléklet

159/2010. (V. 6.) kormányrendelet a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, valamint a leszállóhely létesítésének és megszüntetésének szabályairól

A repülőtér fejlesztésének minősül a repülőtér magasabb osztályba sorolása, ICAO előírás szerinti átminősítése, a futópályák számának növelése, műszaki jellemzőinek megváltoztatása, füves repülőtéren szilárd burkolatú futópálya kiépítése, a meglévő futópálya hosszának hosszabbítása, gurulóút hálózat bővítése, a fénytechnikai rendszer és irányítástechnikai berendezések telepítése, az utas- és áru- kezelésre alkalmas létesítmények kapacitásának növelése, a több megvalósulási szakaszra bontott építkezés esetében a további szakaszokban megépítendő építmény építése.

A repülőtér fejlesztéséhez a légiközlekedési hatóság engedélye szükséges. A tervezett fejlesztésnek megfelelően – amennyiben szükséges – a kijelölt zajgátló védőövezetet módosítani kell. A kereskedelmi repülőtér nemzetközi repülőtérre történő fejlesztésének és nemzetközi repülőtér fejlesztésének, megszüntetésének engedélyezésre irányuló kérelmet a légiközlekedési hatósághoz kell benyújtani.

A légiközlekedési hatóság megvizsgálja, hogy az engedély megadásának feltételei fennállnak-e, az engedély iránti kérelmet és annak mellékleteit az engedély megadására vonatkozó véleményével együtt a közlekedésért felelős miniszternek terjeszti fel.

A miniszter a nemzetközi repülőtérre nyilvánítási eljárás során megvizsgálja, hogy a repülőtér fejlesztésének és megszüntetésének engedélyezése összhangban áll a magyar közlekedéspolitikával és a légiközlekedési politikával, megfelel-e az Országos Területfejlesztési Konceptióban, az érintett területre vonatkozó területrendezési tervben, valamint településrendezési eszközökben foglaltaknak, valamint a repülőtéren az állandó határátkelőhely, valamint a Nemzeti Adó- és Vámhivatalnak az Európai Unió külső vámhatárán működő szerve működéséhez szükséges feltételek biztosítottak-e.

176/1997. (X. 11.) kormányrendelet a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól

A rendelet hatálya kiterjed minden olyan repülőtérre, amelyet motoros repülőgépek és helikopterek rendszeresen használnak. Nem terjed ki a rendelet hatálya a meglévő, de nem üzemeltetett repülőterekre, valamint az olyan repülőterekre, amelyet motoros repülőgépek és helikopterek egy naptári éven belül legfeljebb 15 egymás utáni, illetve összesen 30 napon használnak.

A rendelet alkalmazásában zajgátló védőövezetnek nevezzük a repülőtér környezetének azon a részét, amelyen a repülőtér üzemeltetéséből számított mértékadó zajterhelés meghaladja a közlekedésből származó környezeti zajnak külön jogszabályban (8/2002. KöM-EüM együttes rendelet 3. számú mellékletében) meghatározott zajterhelési határértékeit. Nem tartozik a zajgátló védőövezetbe a repülőtér telekhatárán belül lévő terület. A zajgátló védőövezetnek az a része, amelyen a környezeti zaj szempontjából védendő objektumok vagy védett természeti területek találhatóak, fokozottan zajos területnek, illetve övezetnek minősül.

A mértékadó zajterhelés kiszámításakor a következő tíz év legnagyobb zajterhelést eredményező évében a legnagyobb zajterheléssel járó hat hónap prognosztizált átlagos forgalmát kell alapul venni.

A repülésben a zajszennyezés és ennek kivédése nagyon fontos kérdéskör. A légszennyezésen kívül a zajszennyezés a másik legnagyobb környezetre gyakorolt hatás a repülés kapcsán. A zajgátlást tehát komolyan kell venni, és olyan eljárásokat és rendszabályokat foganatosítani, amelyek csökkentik ezt a fajta környezetszennyezést.

Új repülőtér létesítése vagy meglévő repülőtér működési feltételeinek jelentős mértékű megváltozása esetén az építetőnek, illetve a repülőtér üzemben tartójának el kell készítenie a zajgátló védőövezetre vonatkozó számításokat az új vagy megváltozott mértékadó forgalmi helyzetnek megfelelően. A repülőtér működési feltételeinek változását akkor kell jelentős mértékűnek tekinteni, ha a repülőtéren új futópályát létesítenek, vagy bármelyik futópályának legalább az egyik végén a korábbi állapotokhoz képest 50%-kal megnövekedett a forgalom.

A zajgátló védőövezetre vonatkozó számítás kiinduló adatait és a számítási eljárást a számítások megkezdése előtt a légiközlekedési hatósággal egyeztetni kell. A számítás eredményeit a légiközlekedési hatóság ellenőrzi, amennyiben a számításokat megfelelőnek találja, ennek tényét a zajgátló védőövezetre vonatkozó terveken is feltünteti.

A zajövezeteket ábrázoló térképeket és kijelölésre vonatkozó egyéb dokumentumokat (utcajegyzék stb.) az érintett önkormányzat jegyzőjének közzé kell tenni.

A repülőtér üzemben tartója a fejlesztést követő 6 hónapon belül a zaj elleni védelemre programot készít. Ebben előírja a zajgátló védőövezet kijelölését követően bevezetni tervezett környezetkímélő repülési eljárásokat, korlátozásokat, a földi zajok csökkentése, a területhasználat változtatása terén tervezett intézkedéseket.

Övezet	Számított mértékadó zajterhelés [L_{eq} , M, dB (A)]	
	nappal (06–22 h)	éjszaka (22–06 h)
A jelű övezet:	L_{eq} , M>75	L_{eq} , M>65
B jelű övezet:	$75 \geq L_{eq}$, M>70	$65 \geq L_{eq}$, M>60
C jelű övezet:	$70 \geq L_{eq}$, M>65	$60 \geq L_{eq}$, M>55
D jelű övezet:	$65 \geq L_{eq}$, M>60	$55 \geq L_{eq}$, M>50
E jelű övezet:	$60 \geq L_{eq}$, M>55	$50 \geq L_{eq}$, M>45

1. táblázat Zajgátló övezetek osztályozása⁵

A zajgátló védőövezetben annak kijelölésekor már meglévő és működő intézmények közül „A” és „B” jelű övezetben lévőket kisebb zajterhelésű területre kell áthelyezni, a C és D jelű övezetekben lévőket megfelelő akusztikai védelemmel kell ellátni, az E jelű övezetben kórház és más, egészségügyi szakértői vélemény szerint különlegesen zajérzékeny egészségügyi intézmény épületének nyílászáró szerkezeteit az intézmény kérése alapján javítani kell a passzív akusztikai védelem céljából.

A rendeletben meghatározott feladatok ellátásához szükséges anyagi fedezetet az állami repülések céljára szolgáló repülőtér esetében (továbbá a Légügyi törvényben meghatározásai között 2009-ig létező közös felhasználású repülőtér esetében) az állami repülések által okozott zajterhelés arányában a központi költségvetés, egyéb esetben a repülőtér üzemben tartója biztosítja.

⁵ 176/1997. (X. 11.) Kormányrendelet 3. § (1) bekezdés

A 1995. évi XCVII. Légügyi törvény tükrében

Jelen pillanatban a Légügyi törvényben nem szerepel a kettős felhasználású repülőtér fogalma, mely kategóriát a 2009. évi CXLVII. törvény tett hatálytalanná. Ennek okán nem is lehetne polgári – katonai repülőteret létrehozni, üzemeltetni, tehát újra be kellene emelni a törvénybe ezt a repülőtér kategóriát.

A polgári felhasználás alatt nem csak a hazai, hanem a nemzetközi forgalom számára is meg kellene nyitni a repülőtereket, hiszen így lenne igazán hatékony az üzemelés, és számottevő bevételre így tehetne szert az üzemeltető (MH Összhaderőnemi Parancsnokság). Ehhez (a mai jogállás szerint) a honvédelmi és a közlekedési miniszterek közös rendelete lenne szükséges. További rendeletek szükségesek a közlekedési, honvédelemért felelős, a katasztrófák elleni védekezésért felelős és a környezetvédelemért felelős miniszterektől a biztonsági, akadálymentes és a zajgátló védőövezet kijelölésének továbbá az üzemben tartás és üzemeltetés részletes szabályairól. Továbbá egyeztetni szükséges a helyi önkormányzatokkal, és biztosítani kell a környezetre gyakorolt hatások kivédését a repülőtér fejlesztés nyomán.

A repülőtéri díjfizetés tételeiről és mértékéről az üzembentartó rendelkezik, jelen esetben tehát az MH Összhaderőnemi Parancsnokság, azonban véleményem szerint ezt is a közlekedési és honvédelmi miniszter közös rendeletében kellene szabályozni és figyelembe venni a térség többi nemzetközi kereskedelmi repülőterének a díjszabását is. A repülőtéren a katonai forgalom műveleti és a bajba jutott légi járművek leszállásáért és kiszolgálásáért díj nem kérhető. A díjszabást a katonai légiforgalmi kiadványban (MIL AIP Hungary) és a polgári légiforgalmi kiadványban közzé kell tenni. A repülőteret igénybe vevővel az üzemben tartónak szerződést kell kötnie, amelyben az igénybe vevő különleges kiszolgálási igényeiről is megállapodhatnak.

Ezek után jegyezném meg, hogy figyelembe kell venni és jól meg kell fontolni, hogy melyik katonai repülőteret jelölnék ki közös felhasználásúnak, hiszen amennyiben a járató megfizeti a kiszabható díjtételeket és megfelel a szabályozók és az üzemben tartó által támasztott követelményeknek, csupán ellenszenvre hivatkozva nem lehet elutasítani az igénybevételét, esetleg túlzott nemzetbiztonsági kockázat okán.

A 7/2002. (I. 28.) KöViM rendelet tükrében

A földi kiszolgálás és előkészítés a légijárművek biztonságos üzemeltetésében rendkívül fontos feladat. A kiszolgálás elvégzésére jogosult szolgáltatókat a repülőtér üzemben tartója nyilvános pályáztatás keretében választja ki, kivéve, ha az üzemeltető is végez földi kiszolgáló tevékenységet. A pályázatban egyrészt meg kell határozni azokat a feladatokat, amelyet a pályázó el kell, hogy lásson, másrészt jelen rendelet mellékleteiben szereplő szakmai követelményeknek meg kell, hogy feleljen. Erről a légiközlekedési hatóság illetékes osztálya győződik meg, és engedélyezi a tevékenysége folytatását. Az engedélyt a földi kiszolgáló tevékenységet folytató szolgáltató adott repülőtérre (pl.: Pápa) és adott légijármű típusra (pl.: Airbus A320) kapja, öt évre – mely még öt évvel hosszabbítható, ha minden feltételt teljesít a szolgáltató, tehát a pályázatban a szerződés időtartamát is érdemes legalább öt évre meghatározni.

Mivel a Magyar Honvédség nem rendelkezik a nagyobb járatok repülőgépeihez rendszeresített kiszolgáló eszközökkel, a kiszolgáláshoz szükséges hatósági engedéllyel pedig biztosan nem, így – a kezdeti időszakban legalább is – a legegyszerűbb megoldást a kiszolgáló szervezet a pályáztatás útján történő kiválasztása jelentené. Ez egyúttal bevételkiesést is eredményezne, aminek hatását már érdemes lenne megvizsgálni, azzal együtt, hogy az esetleges kiszolgáló eszköz beszerzési költsége mennyi időn belül térülne meg.

A 27/2001. (XI. 23.) HM rendelet tükrében

Mint katonai repülőtér, a rendelet öt különböző kritériumot állapít meg az üzemelés feltételeiként:

- üzemben tartási engedély,
- repülőtérrend,
- le- és felszállások, helyváltoztatás biztosított,
- repülőtéri szolgálatok,
- kijelölt zajgátló övezetek.

Amennyiben valamely katonai repülőtér besorolása a felhasználás szempontjából megváltozna, a légügyi hatóság szemle keretében vizsgálná az üzemben tarthatóságot, és adná ki az engedélyt. A repülőtérrendet a repülőtér üzemeltetője (pl.: MH Pápa Bázisrepülőtér) készíti el, és a hatóság hagyja jóvá. Amennyiben megvalósulna a fejlesztés, minden bizonnyal a repülőtérrenden is módosításokat kellene végrehajtani.

A katonai repülőtereken telepített léginavigációs berendezések – a mostani állapot szerint is - a katonai repüléseken túl az egyéb, polgári légiforgalmat is kiszolgálhatja. Amennyiben a repülőtéren új léginavigációs berendezést kell létesíteni, úgy a szakmai irányítást a Honvéd Vezérkarnak kell végeznie. Ebben a hatáskörében feladatot kell szabni a telepítési és üzembe helyezési munkafolyamatokkal, tevékenységekkel kapcsolatban az üzemben tartónak (MH Összhaderőnemi Parancsnokság). A berendezések üzemeltetésére ezek után a légiközlekedési hatóság adhatja ki az engedélyt. A telepítés során figyelembe kellene venni a repülőtérrel szemben támasztott hadműveleti-harcászati követelményeket, továbbá az ICAO és NATO szakmai előírásait és nem utolsósorban a gyártó-forgalmazó cég előírásait. Ezeknél az új berendezéseknél fontos figyelembe venni és meghatározni a rendszerbe történő integrálás kérdéseit (álmány kiképzése, a képesség tudatosítása, eljárások kidolgozása).

A 68/2011. (XI. 30.) NFM rendelet tükrében

A repülőtereken szükség szerint rádióállomásokat kell létesíteni. A berendezések telepítéséhez engedély szükséges, melyet vagy a telepítő nyújt be a hatósághoz vagy a léginavigációs szolgáltatást nyújtó. Ez a szervezet nem más, mint az üzemeltető, a katonai repülőbázis. Rádióállomások alatt nem csak a klasszikus, beszéd váltására alkalmas készülékeket értjük, hanem olyan navigációs berendezéseket is, amelyek rádiójelekkel kommunikálnak (pl.: ILS⁶, VOR-DME⁷). Ebben az esetben a légiközlekedési hatósághoz a berendezések által használt frekvenciákat 90

⁶ ILS: Instrumental Landing System; Műszeres leszállító rendszer

⁷ VOR-DME: VHF omnidirectional range – Distance Measuring Equipment; VHF körkörös jeladó – Távolságmérő berendezés

nappal az üzembe helyezés előtt meg kell igényelni.

A repülőtér megnövekedett forgalmához a kiosztható azonosító kódok (repülőtérként jelenleg 16 darab) számát is szükséges megnövelni, amihez a kérelmet legkésőbb 190 nappal a légiközlekedési hatósághoz kell benyújtani az EUROCONTROL által meghatározott kódkiosztási időpont előtt.

A 159/2010. (V. 6.) kormányrendelet tükrében

A rendelet hatálya ugyan nem terjed ki az állami repülések céljára szolgáló repülőterekre, azonban hasonló témájú és ilyen hatáskörben rendelkező jogszabály hiányában felhasználandó. Ezen szabályozás vonatkozásában a fejlesztésre helyezem a hangsúlyt.

A fejlesztésnek minősülő kategóriák közül számos megvalósulhat, vagy meg kellene valósuljon, hogy a kettős üzem létrejöhessen. Berendezések telepítése, építkezések, guruloutak és a futópálya fejlesztése stb. A beruházásoknál figyelembe kellene venni az ICAO és a NATO szakmai szabályozását, követelményeit. A nemzetközi repülőtérre váláshoz továbbá a vámhatóságok és határátkelőhely létesítése is szükséges. A fejlesztésekkel kapcsolatos engedélyeket a légiközlekedési hatóság állítja ki, a nemzetközi kereskedelmi repülőtérre válást pedig a közlekedésért felelős és a honvédelemért felelős miniszterek rendeletben határozzák meg.

A 176/1997. (X. 11.) kormányrendelet tükrében

A kettős üzemnek köszönhetően a zajterhelés minden bizonnyal növekedni fog a Magyar Honvédség által üzemben tartott repülőtereken. Fejlesztés esetében akkor kell a zajgátló védőövezeteket felülvizsgálni, ha új futópályát létesítenek (ami véleményem szerint egyelőre nem realitás), vagy a meglévő futópálya akár csak egyik végén a forgalom 50%-kal megnövekszik. Mivel az 50%-os forgalomnövekedés minden valószínűséggel bekövetkezik, így az új számításokat és a védőövezetek kijelölését el kell végezni. Pontos és hosszú távú kalkuláció szükséges a várható légiforgalom viszonylatában, hiszen 10 éves távlatban kell azt előre jelezni. Az elkészült, védőövezeteket ábrázoló térképeket és dokumentumokat az érintett önkormányzatoknak el kell juttatni. A zajvédelem programjának kidolgozására a repülőtér üzemben tartójának 6 hónap áll rendelkezésére, ennyi idő alatt kell kidolgoznia az eljárásokat, intézkedéseket. A zajgátló védőövezeteket négy (A–D) kategóriákra osztották. A jogszabály védőövezetekbe eső ingatlanok típusánál csak a különböző intézményeket érinti, a lakóépületekre nem tér ki, ezekre vonatkozóan mindenképpen pontosítás szükséges. Ezen intézkedések anyagi fedezetét a rendelet szerint a központi költségvetésből kell biztosítani.

ÖSSZEFOGLALÁS

Amint a fenti jogszabályokból és azokból levont következtetéseimből is látható, a repülőtér fejlesztés a hazai szabályozások figyelembe vételével is igen összetett munka lenne. E mellett minden esetben figyelembe kell venni az ICAO és NATO szakmai szabályozásait is. Az anyagi befektetéseken túl új jogi szabályozás is szükségessé válik. Úgy gondolom, hogy hosszútávon kifizetődő lenne a kapacitásbővülés. Az alapvető infrastrukturális háttér adott, a kettős üzem már minimális kezdeti befektetéssel is el lehetne kezdeni. Hasznos lenne gazdaságilag is és a folyamat végére az önellátást vizionálom, tehát a repülőtér fenntartási költségeit ellensúlyoznák

a polgári repülésből származó bevételek. Továbbá, hogy a szakmai érveknek is teret engedjek, a légiforgalmi irányító állománynak is hasznos lenne, hiszen a jelen alacsony repülési számok tükrében egyre nehezebb fenntartani a jártasságukat, illetve a fiatalok kiképzése még nehezebb feladatot jelent.

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 1995. évi XCVII. törvény a légiközlekedésről
- [2] 7/2002. (I. 28.) KöViM rendelet a földi kiszolgálás feltételeiről és engedélyezésének rendjéről
- [3] 27/2001. (XI. 23.) HM rendelet az állami repülések céljára szolgáló repülőtér és a katonai repülés céljára földön telepített léginavigációs berendezés üzemen tartásának feltételeiről
- [4] 68/2011. (XI. 30.) NFM rendelet a léginavigációs és a légiközlekedés biztonságát szolgáló egyéb földi berendezések engedélyezési eljárásáról és hatósági felügyeletéről
- [5] 159/2010. (V. 6.) Kormányrendelet a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, valamint a leszállóhely létesítésének és megszüntetésének szabályairól
- [6] 176/1997. (X. 11.) Kormányrendelet a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól
- [7] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 549/2004/EK RENDELETE (2004.03.10.) az egységes európai égbolt létrehozására vonatkozó keret megállapításáról („keretrendelet”)
- [8] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 552/2004/EK RENDELETE (2004.03.10.) az Európai Légi-forgalmi Szolgáltatási Hálózat átjárhatóságáról („átjárhatósági rendelet”)

Zubornyák Barna¹-Vas Tímea²

TRM³, VAGYIS LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÓI KOMPETENCIÁK FEJLESZTÉSE ÉS ANNAK LEHETSÉGES HASZNOSULÁSA A TÖBBNEMZETI EGYÜTTMŰKÖDÉSEK SORÁN⁴

A légiforgalmi irányítók hatékony együttműködésének és kompetenciáik fejlesztésére irányuló tréningek megtartására már az 1970-es évek végétől elkezdődtek. A tréningek célja, hogy a légiforgalmi irányító, mint személy és, mint egy csoport tagja, hibázási lehetőségeinek előfordulását csökkentsék. A tréningek szervezése, módszerei és hatékonysága, az elmúlt évtizedekben hosszú fejlődési folyamaton mentek keresztül, jelenleg pedig már a légiforgalmi irányító képzés szerves részét képezik. Magyarországon először a HungaroControl építette be saját képzési rendszerébe, és alkalmazta azt egyfajta felfrissítő képzés formájában is a légiforgalmi irányítók tréningjei során. A gyakorlatok esetükben egy összeszokott és napi szinten együtt dolgozó csoportot céloz meg, akik egyébként nem mellékes, hogy egy nyelven beszélnek. A cikkben a szerzők igyekeznek rávilágítani a TRM hasznosulására a katonai légiforgalmi irányítók javára, különös tekintettel, a többnemzeti és műveleti repülőtereken vállalt feladatokra való felkészülés kapcsán

TRM, OR HOW TO IMPROVE COMPETENCIES OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS AND ITS POTENTIAL UTILIZATION IN A MULTINATIONAL COOPERATION

Trainings, which focusing on the improvement of air traffic controllers competencies and more efficient cooperation, started in late 70's. The goal was, to reduce the potential incident of mistakes committed by the traffic controller, as a person and a member of the team. The organization of trainings, methods and effectiveness have gone a long development process through last decades, and nowadays already form an integral part of air traffic controller training. In Hungary, the Hungarocontrol was the first, who adopted the TRM in its own training system, and applies it during refreshing trainings. In its case, the subjects of trainings are known each other, members of a well proven team, who meet day by day, and it is not negligible, that speak the same language. In the article the authors would like to emphasize how to utilize the TRM for the benefit of military air traffic controllers, in particular the trainings of ones who are serving for multinational team in an operational airport.

A BIZTONSÁG ÉS A HUMÁNFAKTOR JELENTŐSÉGE

A biztonságnak kiemelt jelentősége van a légiközlekedésben, törekedni kell arra, hogy a biztonság ne sérüljön a munkát végző emberek hibái miatt. Fontos, hogy a hibákat lehető legjobban kiküszöböljék, megelőzzék, hiszen az egyes hibák – hibaláncot alkotva - akár katasztrófához is vezethetnek. Ez pedig az egyik legfontosabb feladata az összes légiközlekedésben résztvevő szakembereknek, ugyanis napjainkban a technikai fejlettségnek köszönhetően ezen események közel 55%-a vagy emberi hibából következik be. Azért is számít ez az elsődleges célnak, mert a légi

¹ Légiforgalmi irányító hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, megfiszolnok@gmail.com

² őrnagy, kiemelt gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, vas.time@uni-nke.hu

³ TRM: Team Researce Management

⁴ Lektorálta: Dr. Palik Máttyás alezredes, tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu



közlekedésben olyan értékű technikai eszközöket üzemeltetnek, és annyi ember élete kerülhet veszélybe, hogy elvesztésük nem megengedhető sem a polgári, sem a katonai repülésben.

A már említett hibák kiküszöbölésére, valamint a hiba kialakulási valószínűség csökkentésére irányuló törekvések eredményeként vezették be az 1990-es évek második felétől a TRM-tréningeket, melyek a megelőzésre helyezik a hangsúlyt. A TRM egy angol betűszó, a Team Resource Management rövidítése, melyre nincs magyar szakkifejezés, tükröfordításban a következőt jelenti: Csapat Erőforrás Menedzsment. Gyakorlatilag egy olyan képességfejlesztő, kompetenciafejlesztő tréning, amely azokra a kompetenciákra koncentrál, amelyek a légi forgalmi irányítás során elengedhetetlenül szükségesek. A TRM-tréningek alapjául a már korábban több légitársaságnál is alkalmazott CRM-tréningek (Crew Resource Management) szolgáltak, melyeket szintén a fent említett célból hoztak létre a 1980-as években.

Szükséges kompetenciák

A repülésirányításhoz⁵ rendkívül széleskörű kompetenciák szükségesek, a TRM célja ezek közül a következő kompetenciák fejlesztése:

- előregondolkodás;
- helyzettudatosság;
- együttműködési képesség;
- döntéshozó képesség;
- kommunikációs készség;
- konfliktuskezelés;
- stressz kezelés.

A TRM KAPCSOLÓDÁSA A LÉGI FORGALMI IRÁNYÍTÓK KÉPZÉSÉHEZ

A jelentkező elkezd a légi forgalmi irányító képzést és a képzés előrehaladtával a szakmai tudása jelentősen nő, és a kompetenciái is folyamatosan fejlődnek. A gyakorlati szimulátoros részéhez érve némi megtorpanást, esetleg romlást tapasztalunk, de ez személyfüggő. Majd kisebb hullámvölgyekkel tarkítva, de a képzés végére eléri a munka sikeres elvégzéséhez elengedhetetlen kompetenciákat, és a tárgyi tudást. Amint munkába áll, egy idő után stagnálás, és a kompetenciák csökkenése figyelhető meg, ugyanakkor a rutin növekszik. Ettől kezdve jut fontos szerep a további gyakorlatoknak, a szakmai felfrissítő képzéseknek, melyek a felejtésből visszahozásban segítenek. Valamint itt lép be a TRM is, melynek segítségével a berögzült rossz szokások, habitusok megváltoztathatók és a különböző készségek jobban kihasználhatóak.

⁵ Katonai repülésirányító szolgálat: gyűjtőfogalom, amely jelenthet katonai légiforgalmi irányító, valamint légvédelmi irányító szolgálatot. 3/2006. (II. 2.) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól, 84. §. 20.

A tréningmódszer ismertetése

A tréningmódszer esetén az okozza a nehézséget, hogy nem új információkat kell oktatni, hanem a képességeket és kompetenciákat kell fejleszteni. A másik problémát az okozza, hogy a tréning résztvevői felnőttek, viszont őket teljesen másképp kell oktatni, mint a gyerekeket. A felnőttek sokkal jobban tanulnak belátás útján, saját élmények megélésével, mint a hagyományos módszerekkel. A tréningmódszer lényege, hogy lehetőséget teremt nekik a tapasztalásra olyan szituációk megteremtésével, ahol a résztvevők a belátás útján képesek azokat a képességeket elsajátítani, vagy azokban a képességekben fejlődni, amelyek majd ténylegesen segítenek a hatékonyabb munkavégzésben.

A tréning kezdeti szakaszában gyakran használnak önismereti kérdőíveket is. Felmérik, hogy az adott készségből az adott személynek, az milyen szinten van, és azt miként használja. Így kiderül, hogy mennyit kell még fejlődnie, de ezt általában önállóan kell végrehajtania. A jó gyakorlatok azonban ennél tovább mennek el, adnak megoldási javaslatokat, és ezekből többet is ajánl az oktató. A résztvevő feladata eldönteni, hogy neki melyik a legjobb megoldás, módszer, de ez természetesen egyénenként változhat. A résztvevők a többiek megoldásaiból is válogathatnak, a kollektív tudás bekerül a köztudatba.

A kompetenciák fejlesztésére – az elméleti képzés mellett – a szituációjátékot, alkalmazzák a legszélesebb körben. További nehézség, hogy a szokások és a habitus is akadályozza a kompetenciák gyors fejlődését. A berögzült viselkedésmódok megváltoztatása rendkívül nehéz és időigényes, stresszhelyzetben az ember legtöbbször szokás alapján hoz döntést.

A tréningorozat tervezésének kérdései

Egy tréning szervezése során felmerülnek olyan kérdések, amelyek majd kihatással lesznek a végrehajtásra:

- milyen gyakran, milyen gyakorisággal lesz tartva;
- mekkora tudás szintet és/vagy kompetencia szintet szeretnénk elérni a tréning végére;
- mekkora és milyen témaköröket öleljen fel;
- milyen helyszínen kerüljön megrendezésre, bentlakó vagy bejáró legyen-e;
- mekkora csoportban történjen a végrehajtás.

Ideális esetben először tartanak egy hosszabb első tréninget (kb. 3 nap), amely során eljutnak a megértés szintjéig, és belátják, hogy milyen kompetenciákban kell fejlődniük, és azok miért fontosak a munka ellátásához. Ezek után rendszeresen, néhány havonta eljárnak felfrissítő kurzusokra, melyek 1–2 naposak. Hosszabb távon komoly fejlődés érhető el, de a fejlődéshez 1,5-2 évre lesz szükség. Körülbelül kétévente ér körbe ez a folyamat, majd újra elkezdenek foglalkozni egy adott kompetenciával. Hátrányaként említhető az, hogy ilyenkor a résztvevők természetesen sűrűbben esnek ki a munkából, amit nem mindegyik a munkaadó vesz jó néven anyagi okokból. Minél többször megy körbe ez a folyamat egy légi forgalmi irányító életpályája alatt, annál jobban beépül, és annál hatékonyabb lesz az adott illető a munka során, és így az irányítói hibákból bekövetkező repülőesemények valószínűsége is csökken. Ha ez sikerül, akkor tényleg kijelenthetjük, hogy a TRM-tréning elérte a célját.



Fontos az is a szervezése során, hogy a tréning céljaként a már fentebb említett fejlesztendő készségek és képességek közül hány kerül be a tervbe. Az legjobb az, ha egy tréning csak egy-két célra koncentrál az egyik adott napon, majd a következőn egy újabb készséget helyeznek a középpontba, az előző célok pedig a csak mellékesen jelennek meg, mivel ezeket a legtöbbször nem lehet szigorúan elválasztani egymástól. Tegyük fel, hogy az egyik tréningen, a kommunikációs készségen van a hangsúly, a következőn pedig a döntéshozatalon. Azonban nem lehet úgy helyes döntéseket hozni, hogy az ember nem szerzi be a szükséges információkat, és ezeket az adott feladatban, szituációjátékban (play game) résztvevő többi embertől fogja megkapni, így hozadékként fejlődik a kommunikációs készsége is.

Lényeges szempont a bentlakás kérdése. Ennek akkor van jelentősége, ha az adott tréninget többnaposra szervezik. Nem mindegy, hogy a résztvevők a több napig együtt töltik az idejüket foglalkozásokon, és akár a foglalkozásokon kívül is, vagy a nap végén mindenki hazamegy, és visszacsöppen a megszokott hétköznapi életébe. Másnap azonban ismét visszaérkeznek, és időbe telik, amíg ismét felveszik a ritmust. Ezt a következőkben egy kicsit részletesebben is kifejtem.

A tréning tartása során jelentősége van a csoport létszámának is, mivel nagyon sok gyakorlat igényel csapattársakat, társas interakciókat. Azonban bizonyos feladatoknál a túl nagy csoportlétszám is akadályozhatja a közös munkát. Az ideális létszám 8–12 fő, de ez nagycsoportos gyakorlás esetén változhat. Ilyenkor – kb. 15 fő fölött – több tréner, és esetleg megfigyelők alkalmazása szükséges.

A tréning felépítése, gyakran alkalmazott elemek

Egy tréning felépítése során ún. ívet kell adni annak, amely általában a következőket foglalja magában:[4]

- megérkeztetés;
- témakör ismertetése;
- tükörtartás, különböző játékok, szituációs gyakorlatok;
- levezetés, tanulságlevonás.

A tréningen leggyakrabban alkalmazott elemek:

- ismerkedő gyakorlatok;
- önismereti gyakorlatok, tesztek, vagy kérdőívek;
- különböző játékok, szerepjáték;
- megtörtént esetek, repülőesemények elemzése;
- kooperatív módszer;
- tanulságlevonás, tapasztalatok összegzése

A tréning tartalma

A TRM-tréning megérkeztetéssel kezdődik. Ennek célja, hogy a résztvevő személy tudatosan is jelen legyen, és tevékenyen részt tudjon venni a foglalkozásokon. Ez azért fontos, mert a felnőttek tényleges figyelmét ki kell vívni. Itt általában játékos ismerkedő gyakorlatokról beszélünk. További hasznuk ez ilyen gyakorlatoknak, hogy a résztvevők jobban megismerik egymást, és hamarabb kialakul a szükséges csoportdinamika.



Az önismereti módszer szembeállítja az embert saját magával, és be kell látnia, hogy nem tökéletes. Ez azonban frusztrációhoz vezethet. Ilyenkor az egyén vagy tagad, vagy belátja az igazságot, és keresi a lehetőséget a fejlődésre. Amennyiben van motivációja, akkor képes is lesz fejlődni. Habár ez mindenkiben önmagában dől el, a trénernek kötelessége minden segítséget megadni a fejlődéshez.

A kooperatív módszer során a résztvevőket 4–6 fős csoportokba osztják be. A csoport minden tagjának feladata és felelőssége, hogy mindenki elkészüljön a feladattal, elsajátítsa az aktuális ismereteket. A lényeg, hogy van egy-egy jobb, és egy-egy gyengébb képességű személy mind-egyik csoportba. A feladat végére a jobb képességűek olyan hatással vannak a kevésbé jó képességűekre, hogy azok jobban oldják meg az adott feladatot, miközben a többiek eredményessége nem csökken. Ez a tanulási mód jobban fejleszti a problémamegfogalmazás, a problémamegoldás, az elemzés, a kutatás képességeit [6].

Az különböző már bekövetkezett légi balesetek [3] és egyéb repülőesemények elemzése is fontos része az adott tréningnek, mert mindig olyan kerül bemutatásra, amely kapcsolódik az adott témához. A repülőesemény kiértékelése során elemzik a különböző okokat, a résztvevők – az eddigi tapasztalataikra alapozva – véleményt formálnak, és elmondják, hogy szerintük mi lett volna a helyes tevékenység az adott helyzetben. Ez azért jó, mert mindenki hozzá tud szólni a témához, a kollektív tudás bővül. Azért is hasznos az esetelemzés, mert ennek segítségével esetleg a résztvevők egy hasonló szituációba kerülve könnyebben hozhatnak helyes döntéseket.

A különböző kompetenciákat, elsősorban a kommunikációt, a döntéshozatalt, konfliktuskezelést, és az együttműködési készséget nagyon jól lehet fejleszteni különböző szituációjátékokkal [12]. Ezek során a résztvevőknek közösen kell különböző feladatokat megoldaniuk. Mindig olyan feladatokat, helyzeteket kell megoldani, amelyek bár nem kapcsolódnak szorosan a légi közlekedéshez, vagy a légi forgalmi irányításhoz, de mindig az adott tréning témájába illeszkednek. Legtöbbször el kell vonatkoztatni, párhuzamot kell vonni a légi forgalmi irányítás során használt helyzetek, és az adott gyakorlatban megjelenő helyzetek között, de a fejlesztésre váró kompetencia ugyanaz lesz mindkettő esetben

A tréning végén mindig olyan levezetést kell tartani, melynek tartalmazni a tapasztalatok, tanulságok levonását. A tükörtartás eredményeként esetlegesen megjelenő frusztráció kezelése a tréner egyik kiemelt feladata. Végül pedig ki kell mondatni minden résztvevővel a saját személyes nyereségét az adott tréninggel kapcsolatban.

Értékelés

A munkavégzés – jelen esetben a légi forgalmi irányítás – során történő gyakorlati szaktudás értékelések eredményeként készült statisztikákban fellelhető tendenciák, javítandó elemek bekerülnek a tréning célok közé, mint a tréning résztvevőknél fejlesztendő kompetenciák. A gyakorlati szaktudás értékelése a polgári légi forgalmi irányításban pl. a HungaroControl Zrt.-nél törvényi előírásban foglalt kötelező feladat.

Ezen kívül minden résztvevő kitölt a tréning végén egy értékelő kérdőívet, amely segítségével konkrét javaslatokat fogalmazhatnak meg az adott tréninggel kapcsolatban. Ezeket a véleményeket a legtöbb tréner komolyan veszi, és levonja a kellő tapasztalatokat az elkövetkezendő



tréningekre vonatkozóan. Mivel a TRM Magyarországon még viszonylag friss, ezért még nem állnak rendelkezésre részletes statisztikák a tréningek hatékonyságáról, azonban a polgári légi forgalmi irányítók visszajelzései alapján elmondható, hogy tényleges javulás figyelhető meg, mind a kialakult hibák számában, mind a már kialakult hibák kezelésében [6].

A TRM ALKALMAZÁSA KATONAI KÖRNYEZETBEN

A tréning, a fentiekben összefoglaltak alapján, a katonai légiforgalmi és a légvédelmi irányításban szolgáló szakemberek számára is hasznos lehet. Hiszen ugyanazok a kompetenciák szükségesek a civil és katonai feladatok ellátásához is. A tréning egyes elemei beépíthetők lennének az alapképzésbe, amikor a hallgatók még a szakmai tudás megismerésének és fokozatos megértésnek fázisában vannak [1]. Ezért az elméleti szakmai tananyag, mint az egyes törvények, rendeletek, szakmai alapozó ismeretek, valamint az azok alkalmazását szolgáló angol nyelvű rádiótávbeszélő kezelői ismeretek már elsajátításra kerültek. A szimulációs gyakorlatok pedig az előbb említett tudás alkalmazására szolgálnak, és szintén remek alkalom lehet a tréning beiktatására, már csak azért is, mert a hallgatók személyisége, problémamegoldó képessége, döntéshozatali mechanizmusok gyakorlása ebben az időszakban zajlik. A tréning számukra azért is nagyon ideális, mert fiatal és motivált emberekről van szó, akik fejlődése szempontjából fontos a folyamatos inger és próbatétel. Fontos megemlíteni, hogy jól ismerik egymást, mivel a kollégiumi, bentlakásos környezet erre remek alkalmat biztosít.

A szakszolgálati feladatokat ellátó légiforgalmi és légvédelmi irányítók esetében talán még nagyobb jelentősége van az effajta képzések megtartásának. Ennek pedig az egyik nyilvánvaló oka, hogy a repülések számának drasztikus csökkenésével megkopik a tudás és lankad a figyelem, egyfajta enervált hangulat jelenhet meg, az amúgy is monotonitással járó munkában [10]. Ezt talán még súlyosbíthatja a föld alatt szolgálatot teljesítő katonák munkakörnyezetéből fakadó bezártság érzés is. A fentiekben felsorolt okok talán még inkább lehetőséget teremtenek a hibázásra. Természetesen nem következik, hogy minden ilyen eset repülőeseményhez vezet, de attól a probléma megoldásra vár. Az irányítóknak ezért, szükséges rendszeres alkalmakkor szimulációs gyakorlatokban részt venni és tudásukat szinten tartani. Nagyobb hangsúlyt fektetni az önmaguk javára fordított képzésekre és azok ellenőrzésére, valamint a csoport együttműködésének erősítésére, a légiközlekedési események megelőzése céljából. Ezért esetükben hasznos lenne, amennyiben az éves kiképzési terv szervesét képeznék a TRM.

A honvédség egy tipikusan olyan szervezet, amelyik hazai, békeidős körülmények között készíti a rendeltetéséből adódó feladatok ellátására, vagyis gyakorlatozik. Habár ezek a gyakorlatok manapság egyre kevésbé járnak kitelepeléssel, de azért jellemző, ennek a zárt közösségnek tagjaira, hogy szoros együttműködésben kell tevékenykedniük egy kitűzött cél elérése érdekében. A rendszer nem éppen demokratikus, tehát a rendfokozati hierarchia és az ún. „parancsuralmi” rendszer sajátosságai nem kedveznek a TRM alapvető elveinek a megvalósítására, mint például, hogy a csoport minden tagja véleményével hozzájáruljon egy adott probléma megoldásához. Ennek ellenére, mégis vannak olyan feladatok és szakmai csoportok, ahol a TRM elveit hatékonyan alkalmazzák. Talán a legfontosabb feltétel a csoport homogenitása, viszonylag kis lét-



száma, például szakasz szint és a kitűzött cél elérése. Ezeken a gyakorlatokon, mint kis csoportos harcászat, vagy különleges műveleti csoportok felkészülése, a személyek egymást is értékelik, ezért a gyakorlat egyes fázisaiban sorrendet állítanak fel, a társaikat sorra véve, kikkel tudnak jól együtt dolgozni is kivel nem. Ebben az esetben a motiváció nem csak a kitűzött feladat megoldása, de annak túlélése is lehet.

De vizsgáljunk meg egy olyan eshetőséget, amikor a műveleti környezet és a légiforgalmi irányítás találkozik egymással, vagyis a DATM (Deployable Air Traffic Management) csoportok munkáját. A DATM feladatokban a Magyar Honvédség szakszolgálati személyei, nem csak a légiforgalmi irányító, de a légiforgalmi tájékoztató és repülőtér üzemeltetésben részt vevő személyek egy több-nemzeti csoportban teljesítenek szolgálatot, hadműveleti területeken elhelyezkedő repülőtereken. Természetesen, mint minden műveleti területen itt is fennáll az emberélet veszélybe kerülésének lehetősége, de most vegyük sorra TRM tréningek megvalósításának kiinduló adatait, egyfajta összehasonlítva a polgári légiforgalmi irányítóknál alkalmazottakkal, figyelembe véve azokat a feltételeket, melyeknek alapvetően a birtokában vannak a személyek.



Összehasonlítási szempontok	Polgári légiforgalmi irányító	DATM többnemzeti csoport katonai légiforgalmi irányító
Meglévő szakmai ismeretek, tárgyi tudás	A képzés a HungaroControl saját intézményén belül egységes eljárások, módszer és tudásanyag alapján történik.	A csoport nem feltétlenül homogén, a beemelti követelményként egy NATO 7204 ⁶ dokumentum előírja, hogy az ICAO Annex 1 ⁷ szerint ajánlott szakszolgálati engedéllyel rendelkezzen.
Angol nyelv ismerete, különös tekintettel az ICAO rádió távbeszélő kifejezésekre	ICAO ELPAC ⁸ Level 4 < vizsgára történő felkészítés és vizsga helyben a szervezet erre szakosodott képző központjában történik.	A csoport nem homogén, a magyar katonai légiforgalmi irányítóknál jelenleg még csak terv, de nem követelmény.
Tudásszint	A képzés a HungaroControl saját intézményén belül egységes eljárások, módszer és tudásanyag alapján történik.	A csoport nem homogén. Az elmélet tudásanyag jellege a fenti szövetségi ajánlás okán hasonló lehet, de gyakorlat és jártasság nem biztos.
Előregondolkodás (proaktivitás)	A képzés a HungaroControl saját intézményén belül egységes eljárások, és értékelés alapján történik.	A csoport nem homogén. A különbség adódhat az eljárások különbségein vagy akár a nemzeti kultúra különbségeinek hozadékaként.
Helyzettudatosság (situational awareness)	Tudás és tapasztalat és vérmérsékelt összessége, tehát személyfüggő.	Tudás és tapasztalat és vérmérsékelt összessége, tehát személyfüggő, kiegészülve a kultúrából fakadó habitussal.
Együttműködési képesség	A légiforgalmi irányító munka sajátja.	A légiforgalmi irányító munka sajátja, de többnemzeti környezetben a nemzeti erőviszonyok befolyásolhatják.
Döntéshozatali képesség	Tudás, tapasztalat és személy hármasa, a megfelelő információk birtokában, lehet hatékony.	Tudás, tapasztalat és a személy hármasa, megfelelő információk birtokában, lehet hatékony.
Kommunikációs készség	A csoporton belül anyanyelv használta, de legalább olyan fontos az angol nyelv megfelelő szintű ismerete és használata. A kommunikáció legfontosabb tényezője, az „ <i>azt értsd amit mondani akarok, ne azt amit hallani akarsz</i> ”-talán a legszignifikánsabb a nyelviségen túl.	Különböző kultúra, gondolkodásmód anyanyelvi angolt beszélő kollégák és tanult angolt használó kollégák egyvelege. Kommunikációs nehézségek kockázata.
Konfliktus menedzsment	Ugyanolyan fontos mindkét helyzetben, elfogadott vezető feloldhatja.	Ugyanolyan fontos mindkét helyzetben. elfogadott vezető feloldhatja.
Érthető beszéd	A légiforgalmi irányítói munka fontos jellemzője.	A légiforgalmi irányító munka fontos jellemzője a származási és nyelvi különbségek nehezíthetik.
Kulturális szempontok (multicultural environment)	A homogén csoportot is színesíti.	Nehezen kezelhető, csak összhangba hozható.

1. táblázat A polgári- és DATM katonai légiforgalmi irányítóinak alapvető kompetenciái

⁶ NATO Minimum Requirements For Personnel Providing Air Traffic Services (ATS) in a NATO-led Operations

⁷ Personnel Licensing – személyi alkalmasság

⁸ English Language Proficiency for Aeronautical Communication



ÖSSZEGZÉS

A fenti táblázatokból is kitűnik, hogy az azonos, homogén környezetből érkező személyek esetén is a fenti szempontokat figyelembe véve kell a tréninget hatékonyan felépíteni, hogy a csoport együttműködése és benne személyek fejlődjenek. Egy több-nemzeti környezetből adódó kulturális, nyelvi, identitásbeli továbbá szakmai elméleti és gyakorlati jártasságban előforduló különbségek és másságok talán még inkább igénylik az éles bevetés előtti és akár a műveleti területen történő tréningek lefolytatását.

A hazai tapasztalat egy pozitív példajaként emelhető ki, amikor 2004 évtől kezdődően cseh és portugál légiforgalmi irányítók közreműködésével folytattuk Szolnokon az ISAF misszió, DATM csoportok felkészítését [13]. A közös gyakorlatok bár többnyire szakmai jellegű szimulációkhoz kapcsolódtak, valamint megtörtént repülőesemények feldolgozásán, mégis úgy gondolom mindannyiunk számára nagy előny volt az, hogy ugyanazokkal az arcokkal találkoztunk újra, kinn a műveleti területen.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ZUBORNYÁK Barna: A team resource management – tréning bemutatása, lehetséges adaptációja a katonai repülésirányítói képzés rendszerébe, 2013. ITDK, NKE Budapest
- [2] Dr. DUDÁS Zoltán: Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség
- [3] Dr. Robert L. HELMREICH: Commission of Inquiry into the Air Ontario Crash at Dryden, Ontario, NASA/University of Texas, 1995.
- [4] http://okt.ektf.hu/data/nadasia/file/tananyag/oktataselmelet/1_tananyag7.html
- [5] <http://www.eurocontrol.int/articles/team-resource-management>
- [6] HUNGAROCNTROL magyar légiforgalmi szolgálat zártkörűen működő részvénytársaság LHCC körzeti irányító részleg munkahelyi szaktudás értékelő rendszere, VI. fejezet
- [7] ICAO DOC 9859 AN 474 Safety Management Manual
- [8] Robert L. HELMREICH, Ashleigh C. MERRITT & John A. WILHELM: The Evolution of Crew Resource Management Training in Commercial Aviation, 1999.
- [9] SÁPI Lajos Zoltán alezredes: A katonai repüléseken a repülések irányításakor elkövetett repülésirányítói hibák fajtái, Repüléstudományi közlemények Különszám, 2007
- [10] Scott A. SHAPPELL: The Human Factors Analysis and Classification System–HFACS, Savoy, IL, 2000
- [11] TRM leaflet: Human Factors, Team Resource Management, 2007
- [12] ZÁGON Bertalan és NAGY Ilona: Tanári kézikönyv a szociális kompetenciák fejlesztéséhez 1–12. évfolyam, Budapest, 2008, 102.o
- [13] PALIK Mátyás, VAJDA András: Polgári-Katonai Együttműködés A Légiforgalmi Szakszemélyzetek Képzésében, Repüléstudományi Közlemények 2008:(1) pp. 15-24.
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2008_cikkek/Vajda_Andras_Palik_Matyas.pdf

Gajdos Máté¹

A LÉGVÉDELMI IRÁNYÍTÓ JELÖLTEK KÉPZÉSE SORÁN ALKALMAZOTT ÉRTÉKELÉS RENDSZERE²

A szerző leírja a légvédelmi irányító képzésben jelenleg működő értékelési rendszert, annak fő- és alszemponyjait. Felvázolja mely képességekre, kompetenciákra van szükségük az irányító jelölteknek. Bemutatja az értékelés környezetét, típusát. Részletesen demonstrálja, hogy milyen biztonsági- és irányítói szabályokat kell követnie az értékelt csoportnak, továbbá milyen munkakörnyezeti elvárásoknak kell teljesülniük ahhoz, hogy az irányító jelöltek megfelelő minősítést kapjanak. Felvázolja, hogy milyen dokumentum szükséges adott típusú feladatok méréséhez. Javaslatot tesz új kritériumok bevezetésére.

APPLIED EVALUATION SYSTEM IN INTERCEPT CONTROLLER CANDIDATE TRAINING

The author describes the evaluation system for intercept controller training currently in place in the main and other aspects. He lines out the skills and competences which candidates need. He presents the evaluation environment, type. Demonstrates in detail which security and control rules to be followed for the group assessed, and what the working environment must be met expectations for it to be properly qualified. He sets out what documents needed for measuring specific types of tasks. He proposes to introduce new criteria.

BEVEZETÉS

A Nemzeti Közszolgálati Egyetemen folyó katonai repülésirányítók³ felkészítése során – a képzési kimeneti követelményekkel összhangban – a fogadó alakulatok elvárásai az irányadók. A légvédelmi irányítók szakmai felkészítése során ez a tény egyszerűvé teszi a követelmények meghatározását, mind elméleti, mind a szimulátoros képzés során, mivel egyetlen alakulat, a Magyar Honvédség Légi Vezetési és Irányítási Központ az, amely fogadja e területen végzett fiatal katonákat. Így egyedülként is definiálja, hogy milyen teoretikus és pragmatikus ismeretekkel rendelkezzen a hozzá kerülő vadászirányítók. Az alakulat katonáinak kiképzése NATO⁴ STANAG⁵-ek, és hatályos szövetséges szabályzók alapján történik, így az Egyetemen is a fenti dokumentumokra figyelemmel kell a képzést folytatni. Mindezekon túl a repülésirányító képzésében egyaránt figyelembe kell venni a nemzetközi- illetve a nemzeti repülési előírásokat, továbbá a szakterületre vonatkozó egyéb jogszabályokat. A szakmai képzés elméleti szakaszában ezeknek a dokumentumoknak, előírásoknak a megismerése, elsajátítása, számonkérése történik, majd ezeket követi – a végzést megelőző félévben – a szimulátoros felkészítés, melynek az értékelési rendszerét fogom a továbbiakban bemutatni.

¹ hadnagy, gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, gajdos.mate@uni-nke.hu

² Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

³ Katonai repülésirányító szolgálat: gyűjtőfogalom, amely jelenthet katonai légiforgalmi irányító, valamint légvédelmi irányító szolgálatot [1].

⁴ North Atlantic Treaty Organisation - Észak-atlanti Szerződés Szervezete

⁵ Standardization Agreement for procedures and systems and equipment components - Egységesítési Egyezmények



AZ ÉRTÉKELÉS FŐ SZEMPONTJAI

Előjáróban meg kell megjegyezni, hogy a repülésirányítók gyakorlati felkészítése nagyban összefügg a szimulátorok képességeivel. Ebben kiemelt szerepe van a kompetenciák kialakítása során a valóság-hű helyzetek átélésének, mivel a jelölteknek minél előbb meg kell tanulniuk a térlátást egy kétdimenziós kép alapján, illetve a stressz kezeléshez való alkalmazkodást. Már évtizedekkel ezelőtt rájöttek már, hogy a klasszikus oktatási módszerek folyamatosan kiíródnak a didaktikai rendszerekből, ezek helyét a szimulátorok, vagy más olyan eszközök fogják átvenni, amelyek élménnyé teszik a tanulási folyamatot. Ez nem csupán az impresszió kellemessége miatt fontos, hanem azért is, mert az ilyen módon rögzült ismeret sokkal jobban megmarad hosszú és rövidtávon egyaránt [5].

A Katonai Repülő Tanszéken jelenleg a LETVIS radar szimulátor segítségével képezzük az irányító hallgatókat.

A rendszer az alábbi képességekkel rendelkezik:

- összetett irányítási helyzetek kialakítása, ábrázolása a LETVIS RDP⁶ rendszer megjelenítőin;
- a repülőgép manőverezésének imitációja adott légtérben;
- légihelyzet előzetes kialakítása repülési tervek kidolgozása által;
- a repülőgép szimulált manőverezésének automatikus vezérlése a repülési terv, illetve a pseudo-pilóta tevékenysége szerint;
- primer és szekunder légitárcélpontok ill. radarjelek kiesésének szimulációja;
- a légihelyzet automatikus rögzítése, pillanatnyi leállítása, visszajátszása [4].

Az irányítók mérése során információkat gyűjtünk. Vannak tények, amelyek önmagukban is jelentéssel bírnak, a mérési eredmények azonban általában csak más tényekkel, információkkal, mérési eredményekkel összevetve lesznek igazán informatívak.

Az értékelés több, mint pusztán információ, tartalmazza a viszonyítás mozzanatát is. Az értékelés a mérési eredmény összevetését jelenti más eredményekkel, gyakran egy előre meghatározott szinttel, elvárással, céllal. Mind a valós légvédelmi irányítási feladat, mind az arra történő szimulátoros felkészülés során úgynevezett standardra vonatkoztatott értékelési típus szerint folytatjuk le a mérést. Ennek alapja a kritériumorientált értékelés; a tanítási-tanulási folyamat céljából indul ki. Ezt az elvárható tudás fogalmában jelenítjük meg. Az elvárható tudás felrajzolásánál a szakmai konszenzusokból indulunk ki.

Az elvárható tudás elemzése során a kritériumokat sorozatokba, hierarchiába rendezzük. Ezáltal nemcsak egyetlen kritériumnak és nem csak a minimum-szinten való megfelelést lehet mérni. A teljesítményfokokhoz minőségi skálát rendelünk (nem felelt meg, megfelelt, jól megfelelt, kiválóan megfelelt). A skála, a kritériumok és maga az értékelési eljárás alkotja a szabványt [2].

A vadászirányító jelöltek értékelése során három fontos területet mérünk, melyet az alábbi ábra szemléltet, a kritériumterület hierarchiában elfoglalt helyét, a betűk mérete szemlélteti.

⁶ Radar Data Processing – Radaradat feldolgozás

Repülés- és feladatbiztonság	Bejelentkezés- előzetes ellenőrzés
	Hitelesítés-rejtjelzés
	Átrepülő forgalom kezelése
	Repülésbiztonság
Általános értékelés	Fegyverzet biztosítás, -kezelés
	Irányítói képességek
	Elfogások sikeressége
	Bejelentkezés- előzetes ellenőrzés
	Katonai és polgári koordináció
	Légtér kihasználás, elfogás tervezés
	Kényszerhelyzet kezelés
	Priorizálás
	Eljáráskövetés
	Rádiózás
Munkakörnyezet	Elozetes koordináció és kiértékelő képesség
	Munkahely előkészítés
	Feladat kiosztási és együttműködési képesség
	Rendszerkezelés

1. ábra Az értékelés szempontjai⁷

Repülés- és feladatbiztonság

Az értékelés során az elsődleges és legfontosabb aspektus a biztonságos üzemelés. Minden NATO tagország egyetért abban, hogy békeidőben repülési gyakorlatot, kiképzést, gyakorlást a maximális repülésbiztonság mellett hajtsanak végre. Ennek megfelelően a feladatok végrehajtása során is olyan szabályokat kell betartani, amellyel túlbiztosítjuk magunkat, hiszen a repülés egy átlagon felül veszélyes üzem. Feladatbiztonság alatt azokat a pontokat értjük, amelyek katonai szempontból teszik védettebbé a repülést, ilyen például a rejtjelzés, vagy a hitelesség vizsgálata, vagy a fegyverzetkezeléssel kapcsolatosan minden intézkedés és óvintézkedés. Ennek során a következőket vizsgáljuk:

- bejelentkezés-előzetes ellenőrzés;
- hitelesítés-rejtjelzés;
- átrepülő forgalom kezelése;
- általános repülésbiztonság;
- fegyverzetbiztosítás, -kezelés.

Irányítói képességek

Egyértelműen nem priorizálható, hogy mely képesség a legfontosabb egy irányító tulajdonságai közül. Úgy is kifejezhetnénk, hogy bármely kvalitás hiánya alkalmatlanná teszi az illetőt, ennek a munkának az elvégzésére. Azonban, ha mégis fontossági sorrendet akarunk állítani, akkor

⁷ Készítette a szerző (MS Word)



talán a következőkben felsorolt tulajdonságok a másodlagosak, bár a legnehezebben tanulhatóak, illetve taníthatóak. Ezeket úgy oktadjuk, hogy elveket határozunk meg, és azokat osztályozzuk, hogy mennyire jól tudja a jelölt alkalmazni őket. Az itt elvárt tulajdonságokkal minden repülésirányítónak rendelkeznie kell, nem csak a légvédelmi irányító jelölteknek:

- bejelentkezés- előzetes ellenőrzés;
- katonai és polgári koordináció;
- kényszerhelyzet kezelés;
- eljáráskövetés;
- rádiózás.

Speciálisan, csak a vadászirányítókkal szemben támasztott további követelmények:

- elfogások sikeressége;
- légtérkihasználás;
- elfogás tervezés.

Munkakörnyezet

Ebben az „*elvárás csomagban*” olyan pontok vannak meghatározva, amelyekkel egy irányító feltétlenül szükséges, hogy rendelkezzen. Ahhoz, hogy megfelelően tudjunk dolgozni, járulékos kritériumok szükségesek, melyek a többi kikötés magasabb színvonalú elvégzését teszik lehetővé, ezek is fontos feltételei az irányítóvá válásnak. Ezek könnyen tanulhatók, nagyrészt szokások felvételéről, megtanulásáról van szó, melyek leginkább abból adódnak, hogy minden feladat elvégzésére fel kell készülni, mind technikai, mind humán szempontból, valamint ebben a munkakörben, csapatban kell dolgozni, a kitűzött célok elérése érdekében.

- Feladat kiosztási és együttműködési képesség;
- rendszerkezelés.

REPÜLÉS- ÉS FELADATBIZTONSÁG

Az irányítók képzése folyamatos terhelés növelés folyamán jut el a teljes felkészültségig, ami egy szimulált gyakorló készülségi riasztás (továbbiakban: Tango-scramble) után végrehajtott kiképzési feladat végrehajtását jelenti. A szimulációk során általában egy feladatban a jelöltek 4–5 elfogást hajtanak végre. Ez körülbelül a fele annak, amit egy élő feladat végrehajtás alatt végeznek el, majd a teljes kiképzettségük elérésekor.

Bejelentkezés- előzetes ellenőrzés

Ezt a szakaszt NATO terminológiában „*check-in*”-nek nevezik, itt egyeztetni a légi jármű vezető és a légvédelmi irányító (továbbiakban: IC – Intercept Controller) a legfontosabb paramétereket a feladat végrehajtással kapcsolatban. A legfőbb értékelendő paraméter az, hogy az IC mennyire gyorsan, mégis tagoltan és érthetően képes lebonyolítani ezt a szakaszt, miként tud, körülbelül egy perc alatt kell egy konvencionális ellenőrzést végrehajtani.

Először a rádiópróbát hajtja végre, melyben arra kell figyelnie az értékelőnek, hogy mindkét elfogó repülőgép esetében vizsgálja meg, hogy értik az utasításait. Ez után egy speciális rejtjelző



módszerrel bizonyosodik meg arról, hogy a megfelelő pilótákkal beszél-e. Ennél a végrehajtás pontosságát és meglétet osztályozzuk. Ezt egy szabványos radarazonosításnak kell követnie, melyet különböző módszerek valamelyikének kiválasztásával hajt végre a tanuló. A következőkben a fegyverzetet, és annak biztosítottságát, a fedélzeti üzemanyag mennyiséget kell ellenőriznie, miután informálja a pilótákat használandó légtérről, illetve a rádió hiba esetén a teendőkről. Ennek a résznek nem csak repülés- és feladatbiztonsági szempontból van jelentősége, de az irányítási készségek megítélésének aspektusából is.

Hitelesítés-rejtjelezés

A „*check-in*”-nél már volt szó a hitelesítésről, a végrehajtás során folyamatos rejtjelzési feladatokat kell ellátni, annak érdekében, hogy mindkét fél tudja, hogy a megfelelő, parancsadásra, illetve végrehajtásra feljogosított féllel beszél-e, ez által a feladat biztonságosságát szavatolja. Ennek a folyamatnak a részeként megfigyeljük, hogy a feladatokat végrehajtja-e a jelölt, azt milyen gyorsasággal, pontossággal. A munkatempó, mint minősítési paraméter eddig még nem lett kifejtve. Annak a magyarázata, hogy miért is kell, a részfeladatokat viszonylag gyorsan, tempósan végrehajtani az, hogy egy a hangsebesség közeli sebességgel repülő gép elfogása egy ideális helyzetben, szembe tartó irányon történik. Ilyenkor a cél- és az elfogó repülőgép sebessége összeadódik, időegység alatt nagy távolságot közel 35–40 km-t is meg tesznek egy perc alatt. Belátható, hogy ilyenkor minden nagyon gyorsan történik, nincs idő a késlekedésre, hibázásra, félreértésekbe való bonyolódásra.

Átrepülő forgalom kezelése

A légtér rugalmas felhasználása érdekében a polgári légiforgalmi irányítóknak lehetőségük van aktív, időszakosan korlátozott katonai légtereken⁸ (továbbiakban: TRA) átrepülni. Ennek két módja ismeretes; az első, a garantált átrepülési útvonalakon történő üzemelés. Ezeket a profilokat együttműködési megállapodásokban rögzítik a felek. Másik opció, az átrepülési engedély kérése a TRA-n keresztül, közvetlen koordináció útján. Mindkét esetben olyan repülőgépek lesznek az IC felelősségi területén belül, amelyek nincsenek az irányítása alatt, más frekvencián tartózkodnak, mint amin ő kommunikál. Ebben az esetben is el kell különítenie a saját forgalmát ezektől a légi járművektől, szabvány távolságokat tartva. Az elkülönítések betartását/megsértését osztályozzuk. Az elkülönítési minimumok megsértése a teljes repülési feladat sikertelenségét jelenti.

Általános repülésbiztonság

Ez a terület szignifikáns része az ellenőrzésnek. Itt többek között azt figyeljük, hogy mennyire közelíti meg a minimális tartandó távolságokat, eljárásokat, mint például a TRA közzétett magassági és oldalhatárait. Amennyiben ezt nem tartja be egy irányító, akkor a feladat végrehajtása ugyan csak sikertelen.

⁸ Temporary Restricted Area

Fegyverzetbiztosítás, -kezelés

A feladat végrehajtása során az IC-nek folyamatosan ellenőriztetnie kell, hogy a fegyverzetbiztosítókapsoló biztosított állásban van-e. Erre nemzeti jogszabály ad iránymutatást, melynek az az oka, hogy függesztett éles fegyverzettel történő repülésről van szó. Így követni kell az alábbiakat:

- védekező manőverek esetén, azonnal be kell szüntetni a támadást;
- nem hangozhatnak el fegyverzetalkalmazással kapcsolatos utasítások;
- minden rávezetés alkalmával ellenőriztetni kell a fegyverzet biztosítottságát.



2. ábra Letvis szimulátor⁹

IRÁNYÍTÓI KÉPESSÉGEK

Katonai- és polgári koordináció

A koordináció az egyik legkomplexebb feladat, amit egy irányítónak el kell végeznie, mivel itt mérhető, hogy mennyire tudja a tanult ismereteket fuzionálni, mivel ismernie kell a jogszabályokat, az együttműködés eljárásait, a különböző típusú légi járművek képességeit és a polgári légiforgalmi irányítás lehetőségeit. Ezek ismeretében tud döntéseket hozni, engedélyt kérni, illetve engedélyt kiadni az átrepülő, vagy átadandó, továbbá az egyéb forgalom kapcsán.

Ebben a pontban az irányító komplex képességeit értékeljük a koordináció összefüggésében, illetve azt, hogy mennyire tud döntést hozni annak érdekében, hogy a forgalmát úgy szabályozza, hogy feladatát sikeresen tudja végezni, mégis rugalmasan használja fel a rendelkezésére álló légteret. Itt polgári és a katonai légiforgalmi szolgálatokkal való együttműködési és érvényesülési képesség elsősorban a mérvadó.

⁹ György Eszter: Radar szimulációs gyakorlatok tervezése, pp. 32

Kényszerhelyzet kezelés

Ez a rész is roppant összetett, hiszen itt is számtalan speciális ismeretre kell támaszkodnia adott esetben a jelöltnek, melyek elsősorban technikai jellegűek. A kialakult helyzetek megoldásai módjait vizsgáljuk, abból a szempontból, hogy rövid idő alatt képes-e arra optimális megoldást találni. Minden helyzetre több jó megoldás is létezik, a legtöbb helyzetet vélhetően minden irányító máshogy oldana meg. Ki kell zárni a szubjektív véleményt, az értékelői megoldás kizárólagos elfogadását és objektíven kell elemezni, hogy milyen előnyökkel és hátrányokkal jár a szituáció kezelése.

Eljáráskövetés

A feladat felépítéséből adott, hogy milyen irányítói közleményt milyen helyzetekben kell kiadni valamint, hogy milyen tevékenységet, milyen tevékenységnek kell követnie. Ez azért kiemelten fontos, mert minden eseményt az irányító határoz meg. Amennyiben Ő nincs tisztában a folyamattal, akkor az egész feladat biztonságosságát, sikerességét veszélyezteti. Ezen szempontok alapján kell figyelniük, hogy kielégítően ismeri-e ezeket az eljárásokkal a hallgató.

Rádiózás

A repülésirányításához kapcsolódó ismereteken belül külön terület foglalkozik a rádiózással, melyet Rádiótávbeszélő ismereteknek hívjuk. Ebben a pontban foglalkozunk a hallgató tudásszintjének megfelelőségével, illetve hiányosságaival. Figyelembe kell venni a hanghordozást, a közlemények hosszát, az adás érthetőségét, annak hangerejét. Például ha egy jelölt hadar, vagy halkán beszél, vagy nem ismeri a megfelelő kifejezéseket, esetleg nem jól alkalmazza azokat, akkor itt kell kifejtetni azt az értékelők részéről.

Elfogások sikeressége

Minden bizonnyal ezt a szempontot tartaná mindenki a legfontosabbnak egy elfogás irányító munkája szempontjából. Mára azonban már olyan szintre jutott a légvédelmi irányító tevékenységének komplexitása, hogy ugyan elengedhetetlen, de – az automatizálásból fakadóan –nem a legnehezebb feladata az elfogások tervezése, kivitelezése. Mégis értékelni kell, elsődlegesen a korrekciókat és a végeredményt, azaz, hogy megfelelő módon történt-e a megközelítés.

Légtérkihasználás, elfogás tervezés

A körzeti irányító szolgálaton¹⁰ kívül, a légvédelmi irányító lényegesen kisebb légterekben gazdálkodhat a forgalmával. Mindezt figyelembe véve fontos tulajdonsága, hogy miként tudja-e menedzselni a rendelkezésre álló területet. Ehhez folyamatos előrelátásra, előregondolkodásra van szüksége, hogy a légtérsértéseket elkerülje és a legoptimálisabb kiinduló helyzetet létrehozza.

¹⁰ Légiforgalmi irányító szolgálat irányítói körzeteken belüli ellenőrzött repülések részére.



MUNKAKÖRNYEZET

Feladat kiosztási és együttműködési képesség

A légvédelmi irányítók csapatban dolgoznak, mint ahogyan minden területen a légi vezetésen belül. Ez a helyzet azt eredményezi, hogy vannak előjáróik, illetve beosztottjaik, együtt kell működniük másokkal, különben akár információhiányból, akár a túl sok feladatból adódóan nem tudják sikeresen ellátni feladataikat. Ennek a kritériumnak a mérése során vizsgáljuk, hogy tud-e feladatot megfogalmazni, illetve elosztani a felmért személy, továbbá, hogy miként képes a kapott feladatokat venni, feldolgozni, esetlegesen delegálni, továbbá megfelelően végrehajtani-, végre hajtani.

Rendszerkezelés

Mint, ahogy azt már említettem, az utolsó csoportban felsorolt képességalmaz minden része jól gyakorolható, tanulható, ritka, hogy ezeket valamely jelölt ne tudná elsajátítani, mivel nagy részük a szokásokkal, rutinossággal beidegződik. Ilyen a rendszerkezelés is, hiszen, ha megfelelő időt fordít rá a jelölt, hogy az irányítás informatikai rendszerét megismerje és megtanulja felhasználói szinten kezelni, akkor megfelel ennek az eljárásnak. Mindazonáltal a kezdeti időszakban gyakran előfordul, hogy az értékelt egyének mellé ütnek a billentyűzeten, vagy az egérrel nem a megfelelő funkciót hívják elő. A vizsgálat során azt mérjük, hogy megfelelően használja-e a rendszer képességeit az irányító, illetve kihasználja-e a rendszer adta segítségeket a feladat végrehajtásának megkönnyítése érdekében.

KIÉRTÉKELÉS

Az ellenőrzés során az minimális létszám három fő: egy fő értékelő oktató, egy fő pseudo-pilóta oktató, egy fő irányító jelölt. Mindenképpen fontos, hogy egy oktató mindig csak a növendék megfigyelésével, illetve az elfogások, eljárások követésével foglalkozhasson Neki közvetlenül az értékelt mellett kell helyet foglalnia, hogy figyelemmel kísérhesse a rész munkafolyamatokat.

Az oktató megfigyeli az összes fentebb felsorolt kritérium alapján a hallgató munkáját. A kiértékelést segítő legfontosabb eszköz a kiértékelő lap, amely alapját a Légi Irányító Központban használatos dokumentum jelenti. Ezen feljegyezhető az elfogás profilja, a sarkalatos feladatok elvégzése, valamint a fő szempontok szerinti cselekvések is. Ezen a lapon tud vázlatokat készíteni a nem ideális elfogás geometriájáról az oktató, ezáltal tudja demonstrálni, hogy mely megoldás lenne praktikusabb bizonyos esetben. Az értékelő lapot az alábbi ábra szemlélteti:



FIGHTER CONTROL INSTRUCTOR SHEET

Date	Mission	Area	Controller	Instructor	SIM	LIVE

T F	T/F B:	T F	T/F B:
TASK/S PT	ROD	TASK/S PT	ROD

T F	T/F B:	T F	T/F B:
TASK/S PT	ROD	TASK/S PT	ROD

FLIGHT SAFETY	CONTROL	OVERALL

Trainee	Instructor	Instructor
----------------	-------------------	-------------------

3. ábra Értékelő lap

A végső kiértékelésben a szimuláció minden szereplője részt vesz. Egy jó értékelés során a csoport minden tagja hozzászólhat saját tapasztalataival, észrevételeivel. A szó elsősorban azé az oktatóé, aki a jelölt mellett foglalt helyet, hiszen neki van a legnagyobb rálátása a növendék



tevékenységére. Minden értékelés során bevezetőként elmondja az előzetes benyomásait a feladat végrehajtásáról, illetve arról, hogy milyen tendenciát figyelt meg az eddigi feladatok elvégzése alapján, milyen irányúnak és mértékűnek látja az irányító fejlődését.

Ezt követi az elfogások értékelése. Amennyiben nem megfelelő egy részfeladatnak a kimenetele, akkor az értékelő egy általa készített vázlat alapján bemutatja, hogy milyen geometriai megoldás lenne ideálisabb, illetve miben látta a hibát a hallgató elképzelésében.

Ezt követően számba veszi az összes szempontot, azokat egyenként értékeli. Kifejti észrevételeit, illetve megfogalmazza a növendék erősségeit. Összefoglalja tapasztalatait, kijelöli a fejlesztendő, javítandó területeket, végül közli az átfogó benyomását a feladat végrehajtásáról.

ÖSSZEGZÉS

Összességében megállapíthatjuk, hogy egy jól kialakult értékelő rendszer alapján dolgoznak a Katonai Repülő Tanszék oktatói, melyhez nagyban hozzájárul a Légi Irányító Központ felkészítő irányítóitól kapott magas szintű segítségnyújtás, együttműködés. Mindazonáltal javasolom két új kritérium felvételét a munkakörnyezet és egyet az irányítási képességek értékelési szempontjai közé.

Légijármű vezetőkkel folytatott koordináció

A kiképzési repülések előtt minden esetben az első lépés, hogy koordinál egymással az irányító és az elfogást végrehajtó hajózó személyzet. Ennek a célja a kiképzési cél megfogalmazása, a részfeladatok egységesítése, pontosítása. Ezt a tevékenységet javasolom beépíteni az értékelendő területek közé, elsősorban akkor, amikor már megfelelő szintű gyakorlatot szereztek a jelöltek az elfogási folyamat kivitelezésében.

Munkahely előkészítés

Bármilyen területen dolgozzék is, egy repülésirányító munkahelyén rengeteg információforrás áll rendelkezésre, ezeknek egy része digitálisan, másik része analóg módon, például ellenőrzési listák formájában. Az értékelés e szakaszában érdemes lenne megfigyelni, hogy a feladat ellátásra való felkészülés során a jelölt megfelelően állítja-e be az irányítás-technikai eszközöket, valamint megfelelően szűri-e meg a kapott információkat. Ez egy képernyő beállítás viszonylatában nézve annyit tesz, hogy a feladathoz kiosztott légtérhez megfelelően állítja-e be a monitorát, látja a környező légiforgalmat, vagy nem. Vagy előkészíti-e az azonosító kódtáblát a későbbi feladatokhoz, vagy pedig akkor teszi ezt meg, amikor már folyamatban van a feladat végrehajtása.

Priorizálás

Egy feladat elvégzése során folyamatos döntési kényszerben van az irányító, mivel állandóan figyelnie kell a kialakult helyzetre. El kell döntenie, hogy a milyen közlemény leadása, vagy éppen tevékenység elvégzése lesz a fontosabb a végeredmény szempontjából, ezeknek a döntéseknek a minőségét vesszük górcső alá.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 3/2006. (II. 2.) HM rendelet, az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól
- [2] 16/2000. (XI. 22.) KöViM rendelet a légi forgalom irányításának szabályairól
- [3] Debreceni Egyetem Neveléstudományi Tanszék: „Pedagógiai eredményvizsgálatok” kurzus, elektronikus tananyag, <http://dragon.unideb.hu/~nevtud/Tanarkepzes/meres.htm>
- [4] György Eszter: Radar szimulációs gyakorlatok tervezése, szakdolgozat, NKE, 2013
- [5] Palik Máttyás: Számítógépes szimulátorok alkalmazása a légiforgalom irányító képzésben, Repüléstudományi Közlemények X. Évfolyam 24. Szám, 1998/1., p.73-89, http://www.szrfk.hu/rtk/archiv/RTK_1998_1.pdf
- [6] Sági Lajos Zoltán: A kompetencia fogalmi értelmezése, Repüléstudományi Közlemények, XXII. évfolyam 2010. 1. szám, http://www.szrfk.hu/rtk/folyoirat/2010_1/2010_1_Sapi_Lajos_2.html

Beneda Károly Tamás¹

HAJTÓMŰ NYOMÁSVISZONY (EPR) ALAPÚ SZABÁLYOZÁS MEGVALÓSÍTÁSA A TKT-1 GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰVÖN²

A gázturbinás sugárhajtóművek napjaink közforgalmi és katonai repülésének elsődleges erőforrásai, így alapos ismeretük nélkülözhetetlen a mérnökök számára. A TKT-1 oktatási és kutatási céllal kifejlesztett sugárhajtóműves berendezés az osztott képzésű oktatás elméleti oldalát nagymértékben kiegészíti, jól hasznosítható gyakorlati tudást nyújt a hallgatóknak. Ennek okán folyamatos fejlesztése alapvető érdek, melynek világosan követnie kell az iparban széleskörűen elterjedt megoldásokat. Jelen cikk célja bemutatni az elmúlt évben kifejlesztésre került egy korlátozott hatáskörű, digitális elektronikus szabályozást, mely a hajtómű nyomásviszony (Engine Pressure Ratio, EPR) alapján végzi a feladatokat, valamint a mérő-adatgyűjtő rendszer további finomításait.

DEVELOPMENT OF ENGINE PRESSURE RATIO (EPR) CONTROL LAW ON THE TKT-1 TURBOJET ENGINE

Gas turbine engines are the primary powerplants for civil and military aircraft, thus the well-founded knowledge about their operation is essential for the aeronautical engineers. The TKT-1 turbojet engine has been created to meet the goals of education and scientific investigations; it supplements the theoretical part of both BSc and MSc and it provides useful practical know-how for the students. Therefore, its continued development is an elementary interest which should clearly follow the widely spread solutions of the industry. The aim of the present article is to describe the recently introduced limited authority control system, which provides a control based on the Engine Pressure Ratio (EPR), along with the necessary refinements of the data acquisition system.

BEVEZETÉS

Napjaink közforgalmi és katonai repülésében a legelterjedtebb meghajtási mód a gázturbinás sugárhajtómű, melynek ismerete a repülőműszaki képzést végző hallgatók számára elengedhetetlen. A termodinamikai-áramlástan aspektuson kívül a korszerű mechatronikai megközelítés miatt elektronikai, számítás- és irányítástechnikai ismeretek is lényegesek. A korszerű szabályozórendszerek FADEC³ egységeken alapulnak, melyek kutatása és fejlesztése, beleértve a hajtóművek matematikai modellezését, irányítását és diagnosztikáját is, kiemelkedő jelentőséggel bír [2]. Ez nemcsak a tantermi, elméleti tudást, hanem a gyakorlati oldalt is jelenti, melyet ennek következtében folyamatosan fejleszteni szükséges, hogy az iparban megjelenő, illetve elterjedő megoldásokat adaptálni, kedvezőbb esetben integrálni lehessen az oktatásba. Ebből kifolyólag a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszékén kifejlesztett TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű rendszereinek finomítása állandóan, több szálon is folytatódik. A legnagyobb ívű fejlesztés a teljes hatáskörű, duplikált, digitális, elektronikus szabályozórendszer (Dual FADEC) kialakítása [4], melynek előzetes lépései magukba foglalták a legegyszerűbb

¹ mérnök-tanár, AEROK Repülőműszaki Oktató és Szolgáltató Kft., karoly.beneda@aerok.hu

² Lektorálta: Dr. Varga Béla alezredes. főiskolai docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, varga.bela@uni-nke.hu

³ FADEC: Full Authority Digital Electronic Engine Control, teljes hatáskörű, digitális hajtómű szabályozás



elektronikus szabályozót [11], ennek továbbfejlesztett, de még nem teljes hatáskörű verzióját immáron a hajtómű nyomásviszony (EPR^4) szerinti törvényszerűséggel, melynek ismertetése jelen cikk legfőbb célja. Ezen kívül folyamatban van a Rolls-Royce Trent 900/1000 hajtóműveken alkalmazott TPR⁵ jellemzőn alapuló szabályozórendszer [16] megvalósítása, mely az első FADEC követelményeknek rendszer lesz a TKT-1-hez, azonban a fokozatos fejlesztés logikus lépéseit figyelembe véve még csak egy csatornás (single channel) konfigurációban, hogy az ezzel gyűjtött tapasztalatok beépíthetők legyenek az áramkörök szintjén már meglévő két-csatornás (dual channel), TEDDI⁶ fantázianevű szabályozóba.

Mindezek mellett a gázturbinás sugárhajtómű beható vizsgálatai során fény derült a centrifugális kompresszor lapátos diffúzorának rendkívül kedvezőtlen áramlástan kialakítására, mely számottevő nyomásvesztést okoz az égéstér előtt, ezzel a teljes hajtómű hatásfokát rontva. Ennek áttervezése is a megvalósítás fázisába lépett, mellyel – amennyiben sikerül az áramlás feltételein javítani – számottevően emelni lehetne a tolóerőt.

A GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰVEK SZABÁLYOZÁSA

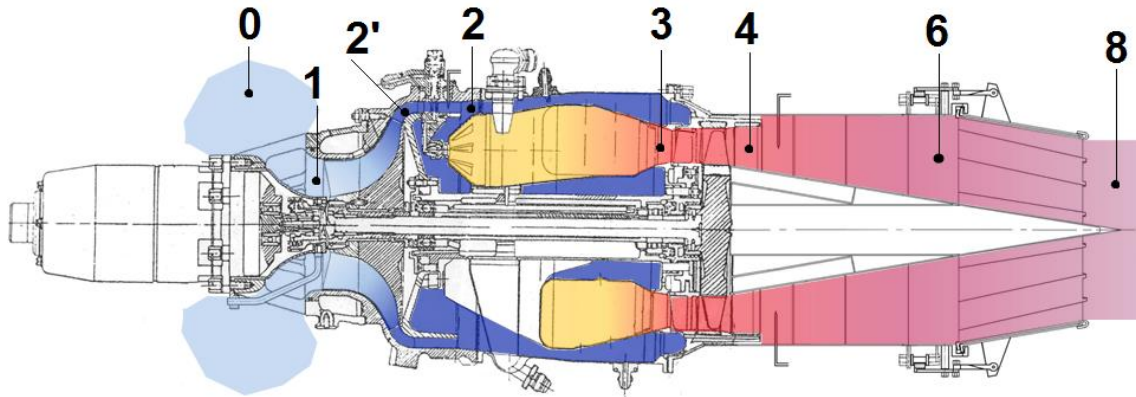
A gázturbinás sugárhajtóművek szabályozásának szüksége

A sugárhajtóművek működését leíró megmaradási törvényszerűségek alapján felépíthető az az egyenletrendszer, mely ennek a matematikai háttérét jelenti. Az egyszerűsítés végett vizsgáljunk egy állandó geometriájú (változtatható fúvócső nélküli) egyáramú gázturbinás sugárhajtóművet, aminek elvi vázlatát mutatja az 1. ábra. A jellegzetes keresztmetszetek a következők: a 0-s pontban a hajtómű zavaró hatását még nem érezni, környezeti jellemzők uralkodnak. Az 1-es pont a kompresszor előtti, a 2' a járókerék utáni, 2 a kompresszor utáni keresztmetszet. A turbina belépését 3-mal, kilépését pedig 4-gyel jelöljük. Az esetleges utánégetést az 5-ös pont mutatná, ez azonban a TKT-1 esetében elmarad, így következik a 6-os pont, mely a fúvócső belépését jelenti. A 7-es keresztmetszet Laval-fúvócső esetén értelmezett, mégpedig a torokkeresztmetszetre utal. Így tehát a hajtóművet elhagyó közeg jellemzői a 8-as pontban mérhetőek. Ilyen viszonyok mellett két tömeg- és egy mechanikai energia megmaradási egyenlet írható fel, melyeket az (1)-(3) egyenletek mutatnak, és rendre a gázgenerátor komponensek együttműködést (égéstér tömegtároló képességét), a gázgenerátor és a fúvócső együttműködését (turbina utáni diffúzor tároló hatását) és a forgórész teljesítményviszonyait vázolja.

⁴ EPR: Engine Pressure Ratio: hajtómű nyomásviszony, $EPR = p_4^*/p_1^*$

⁵ TPR: Turbofan Power Ratio, (kétáramú) sugárhajtómű teljesítményviszony $TPR = \pi_k^* \cdot \sqrt{T_3^*/T_1^*}$

⁶ TEDDI: Teljes hatáskörű, Duplikált Digitális szabályozórendszer



1. ábra: A TKT-1, mint egyáramú sugárhajtómű vázlata, a jellegzetes keresztmetszetek jelölésével

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_3 + \dot{m}_{üia} = \frac{dm_{23}}{dt} \quad (1)$$

$$\dot{m}_4 - \dot{m}_6 = \frac{dm_{46}}{dt} \quad (2)$$

$$P_T \cdot \eta_{mech} - P_K = 4 \cdot \pi^2 \cdot \Theta \cdot n \cdot \frac{dn}{dt} \quad (3)$$

ahol

- \dot{m}_2 kompresszor kilépő tömegáram
- \dot{m}_3 turbina belépő tömegáram
- $\dot{m}_{üia}$ égéstérbe betáplált tüzelőanyag tömegáram
- \dot{m}_4 turbinából kilépő tömegáram
- \dot{m}_6 fűvócső belépő tömegáram
- m_{23} az égéstérben tárolt közeg tömege
- m_{46} a turbina utáni diffúzorban tárolt közeg tömege
- t idő
- P_T a turbina teljesítménye
- η_{mech} mechanikai hatásfok
- P_K a kompresszor teljesítményigénye
- Θ a forgórész tehetetlenségi nyomatéka
- n a forgórész fordulatszáma

Amennyiben az (1)-(3) egyenletek egyes tényezőit gázdinamikai paraméterekkel helyettesítjük, belátható, hogy a három egyenlet négy független változót, a π_k^* kompresszor és π_t^* turbina torlóponti nyomásviszonyokat, a q_T tüzelőanyag-hányadot és a tartalmazzák.

A fent megállapított fizikai törvényszerűségek értelmében tehát kijelenthető, hogy tetszőleges számú forgórészsel, de állandó geometriával rendelkező sugárhajtómű esetében egy további egyenlet szükséges az egyenletrendszer zárásához [17].

A szabályozási törvényszerűségek

Vizsgáljuk meg, milyen törvényszerűségeket alkalmaznak a gyakorlatban, melyek mindegyike alapvetően a hajtómű tolóerejének állandó értéken tartását célozza meg. Szükséges azonban figyelembe venni, hogy ezen jellemző mérése repülés közben nem lehetséges, másrészt pedig nem adna információt a hajtómű aktuális mechanikai és hőterheléseiről.

Ennek következtében a leggyakrabban alkalmazott szabályozási törvényszerűség a fordulatszám szerinti szabályozás, mely többforgórészes hajtóműveknél jelentheti a kis- vagy nagynyomású forgórészenek állandó fordulatszámra való tartását. A fizikai fordulatszám ugyan egyszerűen érzékelhető és a jel könnyen továbbítható még a korszerűtlenebb hidromechanikus szabályozóknál is, azonban korlátai révén nem képes biztosítani a tolóerő elvárt állandó értéken való tartását. Jobb közelítést ad, ha átszámított fordulatszám szerint történik az irányítás, mert ekkor a repülési sebesség növekedéséből fakadó dinamikus kompresszió hatása is figyelembe vehető, mely számottevően befolyásolja a hajtómű üzemét [14].

Amennyiben kiindulunk egy olyan feltételezésből, hogy a hajtómű fúvócsövében teljes expanzió játszódik le, akkor a hajtómű tolóereje kifejezhető a fúvócsövén keresztül távozó gázok sebességével, a repülési sebességgel és a hajtómű jellegzetes keresztmetszeteiben létrejövő tömegáramokkal:

$$F_t = \dot{m}_8 \cdot c_8 - \dot{m}_0 \cdot v_0 \quad (4)$$

ahol

- F_t a hajtómű tolóereje
- \dot{m}_8 a fúvócsőből kilépő tömegáram
- c_8 a fúvócsövön távozó közeg sebessége
- \dot{m}_0 a hajtóműbe belépő tömegáram
- v_0 repülési sebesség

Fejezzük ki a kilépő impulzust a kontinuitás tételének segítségével, majd bővítsünk a fúvócső kilépő keresztmetszetében érvényes κ_8 adiabatikus kitevővel, R_8 specifikus gázállandóval, valamint T_8 statikus hőmérséklettel. Ekkor a nevezőben megjelenő szorzat a fúvócső kilépő keresztmetszetében érvényes helyi hangsebesség négyzetét eredményezi, mely a számláló c_8^2 értékével M_8^2 -re vezet, valamint a ρ_8 sűrűség, R_8 és T_8 szorzata a számlálóban a p_8 statikus nyomással helyettesíthető az állapotegyenlet értelmében.

$$\dot{m}_8 \cdot c_8 = \rho_8 \cdot A_8 \cdot c_8^2 = \frac{\rho_8 \cdot A_8 \cdot c_8^2 \cdot \kappa_8 \cdot R_8 \cdot T_8}{\kappa_8 \cdot R_8 \cdot T_8} = \kappa_8 \cdot p_8 \cdot M_8^2 \cdot A_8 \quad (5)$$

ahol

- A_8 a fúvócső kilépő keresztmetszete

Hasonlóképpen fejezhető ki a belépő impulzus is, itt azonban a továbblépés érdekében szükséges a 0-ás és 1-es keresztmetszetek tömegáramainak azonosságára alapozva az $\dot{m}_1 \cdot c_1$ impulzusra áttérni:

$$\dot{m}_0 \cdot v_0 = \kappa_0 \cdot p_0 \cdot M_0^2 \cdot A_0 \xrightarrow{\dot{m}_0 = \dot{m}_1} \dot{m}_1 \cdot c_1 = \kappa_1 \cdot p_1 \cdot M_1^2 \cdot A_1 \quad (6)$$

ahol

- κ_0 a környező levegő adiabatikus kitevője
- p_0 a környezeti statikus nyomás
- M_0 a repülési Mach-szám
- A_0 a hajtóműbe belépő közeg áramcsövének 0-s pontbeli paraméterekkel értelmezett keresztmetszete
- \dot{m}_1 a kompresszorba belépő tömegáram
- c_1 a kompresszorba belépő közeg sebessége
- κ_1 a kompresszorba belépő közeg adiabatikus kitevője
- p_1 a kompresszor előtti statikus nyomás
- M_1 a kompresszorba belépő közeg Mach-száma
- A_1 a kompresszor belépő keresztmetszete

Célszerű a statikus nyomások helyett a torlópontiak figyelembe vétele, mely a Mach-számmal és a κ adiabatikus tényezővel általánosságban a következőképpen írható fel:

$$p = \frac{p^*}{\left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} \cdot M^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}} \quad (7)$$

ahol

- p statikus nyomás
- p^* torlóponti nyomás
- κ adiabatikus kitevő
- M Mach-szám

Ennek értelmében a tolóerő felírható a következő kifejezéssel:

$$F_t = \frac{p_8^* \cdot \kappa_8 \cdot M_8^2 \cdot A_8}{\left(1 + \frac{\kappa_8 - 1}{2} \cdot M_8^2\right)^{\frac{\kappa_8}{\kappa_8 - 1}}} - \frac{p_1^* \cdot \kappa_1 \cdot M_1^2 \cdot A_1}{\left(1 + \frac{\kappa_1 - 1}{2} \cdot M_1^2\right)^{\frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1}}} \quad (8)$$

Bővítve a kompresszor belépő torlóponti nyomásával, valamint a környezeti statikus nyomással, ezen kívül figyelembe véve, hogy $p_8^* \approx p_4^*$, kapjuk:

$$F_t = \frac{p_1^*}{p_0} \cdot \frac{p_4^*}{p_1^*} \cdot \frac{p_0 \cdot \kappa_8 \cdot M_8^2 \cdot A_8}{\left(1 + \frac{\kappa_8 - 1}{2} \cdot M_8^2\right)^{\frac{\kappa_8}{\kappa_8 - 1}}} - \frac{p_0 \cdot \kappa_1 \cdot M_1^2 \cdot A_1}{\left(1 + \frac{\kappa_1 - 1}{2} \cdot M_1^2\right)^{\frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1}}} \quad (9)$$

A levezetés utolsó lépéseként azt a megfontolást tehetjük, hogy a kompresszor belépő torlóponti és környezeti statikus nyomások hányadosa a repülési Mach-szám, valamint a szívócsatorna össznyomás-visszanyerési tényezőjével számítható, így a tolóerő végképlete:

$$F_t = \left(1 + \frac{\kappa_0 - 1}{2} \cdot M_0^2\right)^{\frac{\kappa_0}{\kappa_0 - 1}} \cdot \sigma_{sz}^* \cdot \frac{p_4^*}{\underbrace{p_1^*}_{EPR}} \cdot \frac{p_0 \cdot \kappa_8 \cdot M_8^2 \cdot A_8}{\left(1 + \frac{\kappa_8 - 1}{2} \cdot M_8^2\right)^{\frac{\kappa_8}{\kappa_8 - 1}}} - \frac{p_0 \cdot \kappa_1 \cdot M_1^2 \cdot A_1}{\left(1 + \frac{\kappa_1 - 1}{2} \cdot M_1^2\right)^{\frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1}}} \quad (10)$$

ahol

- σ_{sz}^* a szívócsatorna össznyomás-visszanyerési tényezője, p_1^* / p_0^*

Előfordul sok helyütt, hogy a turbina utáni p_4^* torlóponti nyomás helyett az azzal jó közelítéssel azonos p_6^* fűvócsöbe belépő torlóponti nyomást helyettesítik:

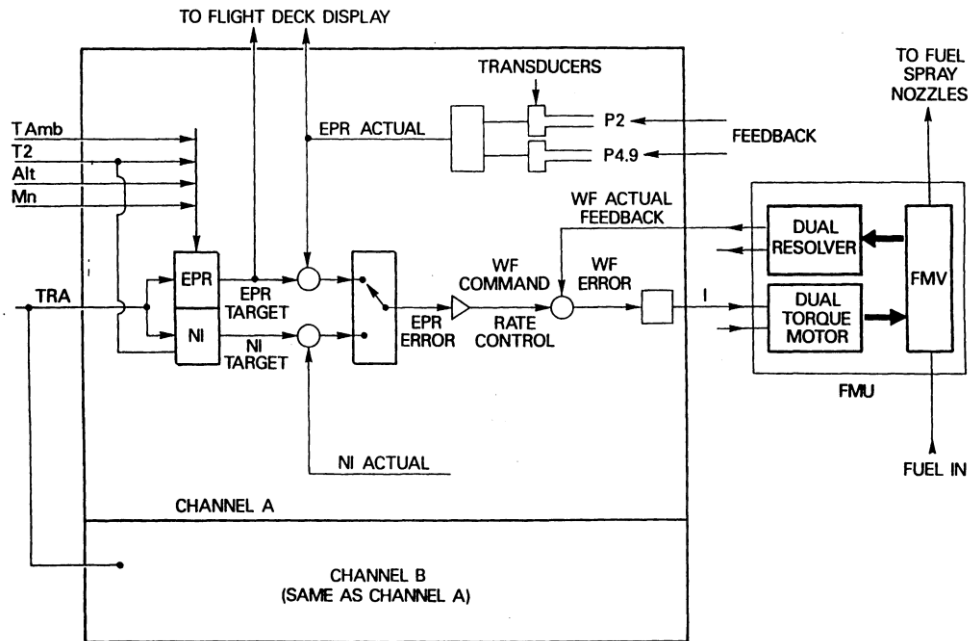
$$EPR = \frac{p_4^*}{p_1^*} \approx \frac{p_6^*}{p_1^*} \quad (11)$$

Megállapítható tehát, hogy adott repülési magasságon, mely a p_0 , illetve a T_0 statikus hőmérsékleten keresztül a κ_0 adiabatikus kitevőt határozza meg, adott M_0 repülési Mach-szám mellett, változatlan hajtómű üzemmódot, azaz állandó M_8 , κ_8 , σ_{sz}^* és esetleg A_8 feltételezésével a tolóerő a turbina utáni p_4^* és kompresszor előtti p_1^* torlóponti nyomások viszonyának, vagyis a hajtómű nyomásviszony egyértelmű függvénye:

$$F_t = f(EPR, M_0, p_0, T_0) \quad (12)$$

Ennek értelmében azon hajtóművek esetében, ahol lehetséges ezen nyomások mérése és bevezetése a szabályozó rendszerbe, ott a tolóerő állandó értéken tartása hatékonyabban megvalósítható, mint a hagyományos fordulatszám szerint működő megoldásoknál. Mind a polgári (pl. International Aero Engines IAE V2500, [1]), mind a katonai repülőgép-hajtóművek (pl. Pratt & Whitney F1000-PW-220, [14]) tekintetében széles körben elterjedt megoldásról van szó. Érdekes megjegyezni, hogy a V2500 hajtómű esetében a szabályozó rendszer a repülési Mach-számot, környezeti hőmérsékletet és repülési magasságot az ADIRU⁷ számítógéptől kapja, hogy a (10) képlet további tényezőit meghatározhassa. Ennek az elvi vázlata látható a 2. ábrán, melyen T_2 a kompresszor belépő hőmérsékletét, T_{Amb} a környezeti hőmérsékletet jelöli, Alt a repülési magasságra, Mn pedig a repülési Mach-számra utal. A torlóponti nyomások tekintetében a P_2 a kompresszor belépő, $P_{4.9}$ pedig a turbina utáni értéket képviseli.

⁷ ADIRU: Air Data and Inertial Reference Unit



2. ábra Az IAE V2500 hajtómű szabályozórendszerének elvi vázlatja [1]

Az F100-PW-220 hajtómű viszont rendelkezik változtatható keresztmetszetű fűvócsővel, így két-paraméteres szabályozást valósít meg a digitális elektronikus rendszer, mely ott a DEEC⁸ nevet viseli. Ez azt jelenti, hogy a tüzelőanyag-betáplálással a ventilátor (kisnyomású kompresszor) átszámított fordulatszáma, vagyis a rajta átáramló levegőmennyiség tartható állandó értéken, míg a fűvócső keresztmetszet állításával az EPR is állandósítható, így tulajdonképpen a tolóerő legfontosabb paraméterei egyszerre kézben tarthatóak, a tolóerő változatlanóságát biztosítva [14].

Mindezek alapján megállapítható, hogy a TKT-1 sugárhajtómű szabályozórendszerének EPR szerinti működésre való felkészítése jelentős előrelépést jelent, mely az oktatásban való felhasználási területet is figyelembe véve számottevően növeli a berendezés képességeit. Földi telepített kivitele azonban olyan korlátokat is felvet, melyek éppen a repülőgép üzemmódját leíró paraméterek befolyását küszöbölik ki, tehát az előzőekben megállapítottak szerinti Mach-szám és repülési magasság jelentette hatások nem vizsgálhatóak ezzel a konfigurációval. Későbbiekben tehát szükség lesz olyan fejlesztésre, amit modell repülőgépre építve széles üzemmód-tartományban folytatott méréseket tehet lehetővé, tovább bővítve ezáltal a jelenlegi adottságokat.

A HAJTÓMŰ NYOMÁSVISZONY SZERINTI SZABÁLYOZÁS KIVITELEZÉSE

A hajtóművet érintő módosítások

Jóllehet a turbina utáni nyomás mérésének igénye már a kezdetektől fogva megvolt, azonban torlóponti, statikus nyomásokat szolgáltató és iránymérést is megvalósító szondának a kiépítése anyagi korlátok miatt ennek a megvalósítása egészen 2013 elejéig váratott magára. Ekkor a tervezett új szabályozórendszer megkövetelte legalább a torlóponti nyomás mérését, melyet a

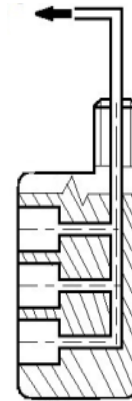
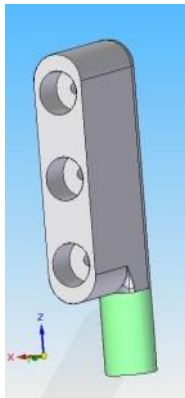
⁸ DEEC: Digital Electronic Engine Control, az F100-PW-220 hajtómű digitális elektronikus szabályozóegysége

már meglévő elemek minimális bontásával kellett azonban létrehozni, ami nem tette lehetővé a legkedvezőbb konstrukció kialakítását. Emiatt, illetve egyéb tényezők okán a statikus nyomás mérésének kialakítását elvetettük, az iránymérésre alkalmas szonda megvalósításával együtt, és kizárólag a torlóponthoz való nyomás felvételére törekedtünk. Azon repülőgépek sugárhajtóművek esetében ugyanis, ahol a turbina utáni nyomást mérik – akár szabályozási, akár felügyeleti céllal – a turbinát követő bordákban helyezik el a nyomás felvételi csatlakozásokat. Egy ilyen megoldást lehet látni a 3. ábrán, ahol az IAE V2500 hajtóművön ezen bordák a kisnyomású turbina hátsó csapágyának megtámasztását is végzik [1].



3. ábra Az IAE V2500 hajtómű turbina utáni nyomásának mérése

A TKT-1 esetében azonban a bordákhoz való hozzáférés beépített állapotban jelentősen korlátozott, ezért független szondáknak az elhelyezése mellett döntöttünk. Az új alkatrészek a turbina utáni diffúzor központi kúpját tartó bordák mögötti térben, a kerület mentén a három borda között egyenlő osztással kerültek beszerelésre. Minden szonda három sugáron végez mintavételezést, melyek egy közös furaton keresztül, mint átlag jutnak el a három szonda jeleit átlagoló közös vezetékbe. Így összességében kilenc helyszínen eredményez egy értéket, melyet egy MPXV7025 piezorezisztív érzékelő segítségével konvertálunk a nyomással arányos feszültségjellé. Ezt már közvetlenül be lehet kötni a mérő-adatgyűjtő rendszerbe, valamint továbbítható a szabályozó irányába. A nyomásmérő szonda kialakítását mutatja a 4. ábra, melyen megfigyelhető, hogy az egyes nyomásvételi pontok előtt egy rövid, megnövelt átmérőjű előkamra található, mely a szonda irányérzékenységét hivatott csökkenteni. Erre amiatt volt szükség, mert a hajtómű matematikai modelljének adatait alapul véve, a turbinát elhagyó áramlás üzemmódtól függően 10-20 fokos szöget zár be a hajtómű hossz tengelyével, vagyis számottevő irányváltás következik be az üzemi tartományon belül is. Ezzel a megoldással azonban $\pm 23^\circ$ eltérés esetén is 1%-on belüli hibával mérhető a torlóponthoz való nyomás [13].



4. ábra A nyomásfelvevő szonda

Az új szabályozórendszer hardvere

Az előző szabályozóegység, a PELE 2-es verziójának kialakítása nem tartalmazott olyan mértékű továbbfejlesztési lehetőséget, mely biztosította volna az új, megnövekedett igények kielégítését. Felmerült ugyanis az, hogy a fejlesztés alatt álló szabályozó működése során nyerhesünk adatokat az általa érzékelt adatokról, megkönnyítve ezzel az esetleges hibafelderítést, valamint a felhasználó számára további beállítási lehetőségeket is nyújthat.

Az új szabályozó, a PELE3 áramköre, tekintettel a szabályozott gázturbina azonosságára, nyomokban tartalmaz hasonlóságot a régi variációval, alapjaiban azonban új konstrukció. Mivel a [6]-ben a hardver már részletezésre került, itt csak vázlatosan mutatjuk be, koncentrálnva azokra a képességekre, melyeket azóta nyert el a fejlesztés további lépései során.

A PELE2-höz képest a lehetőségek kibővítése érdekében a központi mikrokontroller (MCU⁹) egy Freescale MC9S08SH8 típusú IC, mely 20 lábú DIP¹⁰ tokozásban kerül forgalomba, 8kB belső Flash program- és 512 bájt statikus RAM-ot tartalmaz. Analóg-digitális átalakítója 10 csatornás multiplex lehetőséggel rendelkezik, valamint a további digitális bemenetek nyomógombok kezelését is biztosítják a kétsoros karakteres LCD¹¹ mellett. Két 16 bites számlálója PWM¹² jelek létrehozását, illetve mérését teszi lehetővé. Az LCD vezérlését a korábbi fejlesztésekben már bevált 74164 típusú SIPO¹³ IC-re épülő áramkör végzi, így az adatokat bájtanként fogadó LCD felé elegendő három jel, az adatvonal, valamint a SIPO IC és az LCD órajel vezetéke, szemben az adatot párhuzamosan továbbító kialakítás tíz vezetékével [8]. Így az MCU felszabaduló lábai további feladatokat végezhetnek. Az kijelző segítségével beállításokat is lehet végezni, az ezekhez szükséges kommunikációt a felhasználóval nyomógombokon keresztül biztosítja a PELE3. Az áramkör rendelkezik még egy RS232 szabvány szerinti kommunikációt biztosító résszel, mely személyi számítógéphez soros vonalon keresztül történő adattovábbítást tesz lehetővé.

⁹ MCU: MicroController Unit, mikrokontroller

¹⁰ DIP: Dual Inline Package, kétsoros lábosztású integrált áramköri tokozás

¹¹ LCD: Liquid Crystal Display, folyadékkristályos kijelző

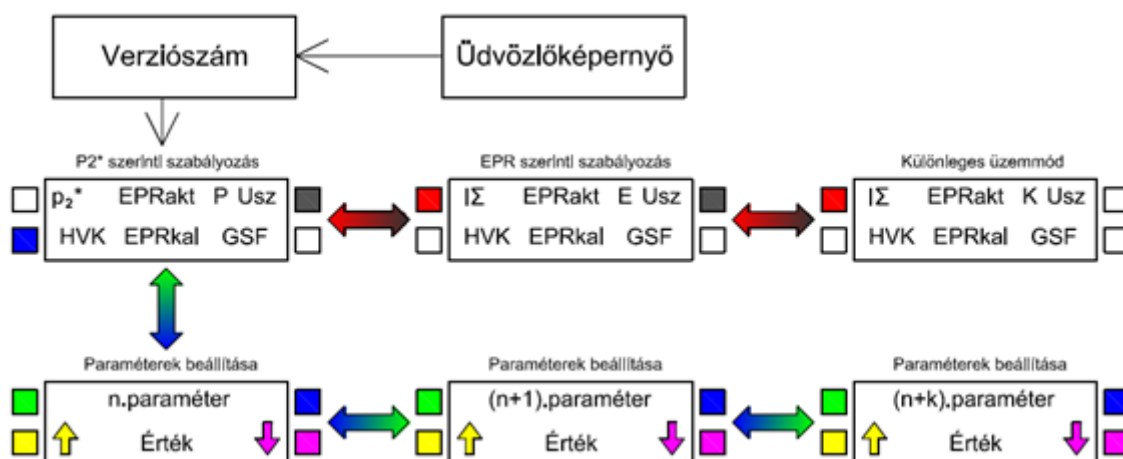
¹² PWM: Pulse Width Modulation, impulzus-szélesség moduláció

¹³ SIPO: Serial In Parallel Out, soros bemenetű, párhuzamos kimenetű integrált áramkör

A hardver alapvető önellenőrzési képességekkel is fel lett ruházva. Mivel a nyomásérzékelők eleve valamilyen nullponti eltolással rendelkező jelet adnak ki, itt egyszerű volt a szenzor helyes működésének megállapítása. A HVK és a GSF vezérlő kar tekintetében kis átalakításra volt szükség, az ezekhez tartozó potenciométerekkel sorosan két további, fix ellenállás került elhelyezésre, egy a táp, egy a föld irányába. Így a potenciométerrel elérhető minimális feszültség mindig nagyobb, mint zérus, illetve mindig kisebb, mint a tápfeszültség. Ismerve a fix ellenállások értékét, meghatározható az a tartomány, amit normális körülmények között mérhetünk, és ha ebből kiesik az aktuális eredmény, akkor az az adott érzékelő hibájára utal.

A működtetést végző szoftver

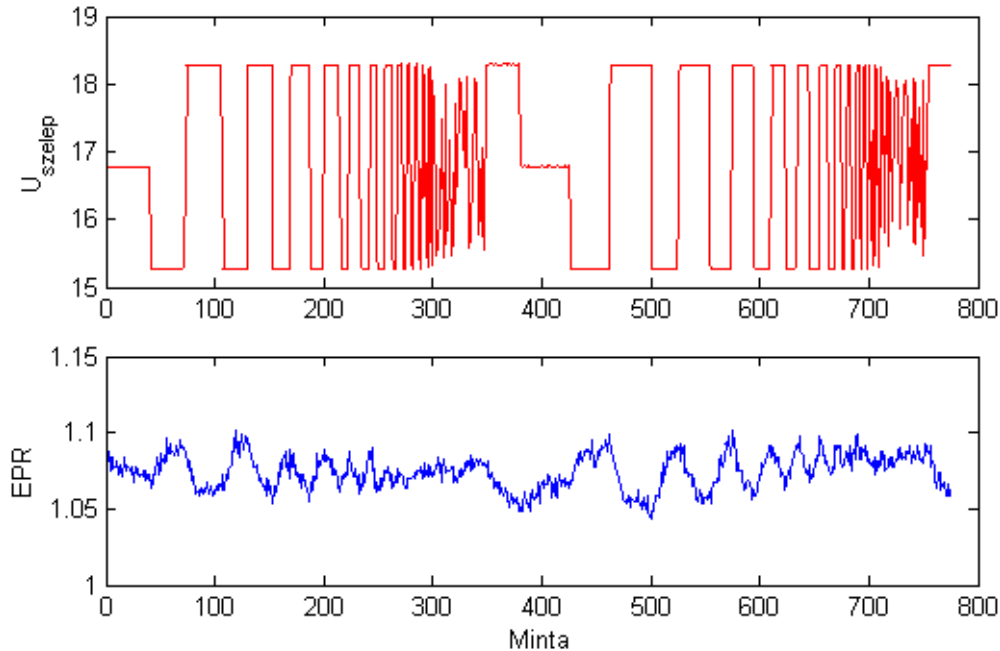
Jelentős változás a PELE2-höz képest a működés legfontosabb adatainak valós időben történő megjelenítése az erre a célra integrált LCD-n. Ennek és menügombjainak segítségével interaktív módon valósítható meg a hajtómű üzeme. Kiemelten nagy szerepe volt azonban a fejlesztésben, amikor a szabályozó helyes működésének ellenőrzésére is lehetőséget nyújtott. A számos különböző képernyő egyszerűsített vázlatát mutatja az 5. ábra.



5. ábra: A PELE3 menürendszere

Tekintettel a sugárhajtómű kutatási és oktatási céljaira, a PELE3 szoftvere az összes eddigi lehetőséget biztosítja, nem csak egyetlen szabályozási törvényszerűség vizsgálható a segítségével. A PELE2-ben megvalósított kompresszor nyomásviszony szerinti működés azonban kibővült az EPR szerinti szabályozással, valamint egy különleges üzemmóddal, mely képes a hajtómű átviteli függvényének meghatározása érdekében a szabályozó bemenetet, az arányos szelep feszültségét időben növekvő frekvenciájú négyszögjel szerint vezérelni, és az így előálló tranzienst folyamatok során meghatározható a bemenet és a kívánt hajtómű jellemző, mint kimenet közötti komplex átviteli függvény, mellyel a szabályozó rendszer tervezése megvalósítható. Az identifikáció szükséges volt az EPR alapú irányítás kialakításához, melynek egy jellemző adatsorát mutatja az 6. ábra. Ezen megfigyelhető a beavatkozó jel változása, ez a TKT-1 esetében az arányos szelepre adott feszültség [11]. Megfigyelhető a piros vonallal mutatott paraméter időbeli lefutásában, hogy egyre nagyobb frekvenciájú négyszögjellel történt a megtáplálás, mely alkalmas a változó frekvenciájú szinuszos gerjesztés helyettesítésére, tekintettel arra, hogy egyszerűbb megvalósítani, és a négyszögjel hirtelen létrejövő fel- és lefutó élei Fourier-analízissel bizonyíthatóan az alapfrekvencia páratlan egész számú többszöröseiből álló felharmonikusok alkotják [9]. A frekvencia

1/10Hz-től kb. 10 Hz-ig került változtatásra, ami megfelel a gyakorlatban előforduló, hajtóművet érő hatások tartományának. A kék görbe jelöli a rendszer válaszát, mely esetünkben a hajtómű nyomásviszony. A kiértékelés során mindkét jellemzőt a kezdeti stabil állapotnak megfelelő kö-zépérték, mint munkapont körüli differenciaként értelmeztük.



6. ábra Az identifikációs mérés két jellegzetes adatsorozata

A kapott diszkrét időpillanatokban mintavételezett bemenő és kimenő jellemzők adatsorait MATLAB segítségével értékeltük ki, első lépésként létrehozva a diszkrét idejű rendszer átviteli függvényét Output-Error modellel, majd pedig ennek folytonos idejű megfelelőjét számítottuk a $d2c$ függvény segítségével. A kialakult átviteli függvény a következőre adódott:

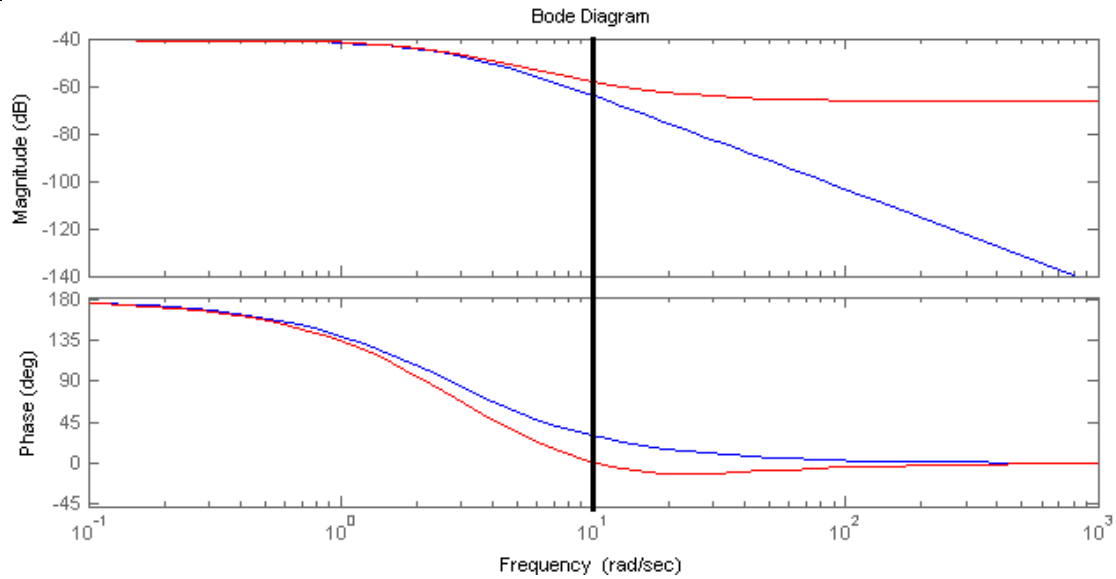
$$G(s) = \frac{0.0004898s^2 + 0.006461s - 0.06671}{s^2 + 5.282s + 7.24} \quad (13)$$

Mivel a számláló első- és másodfokú tényezői jelentősen kisebbek, mint a nulladfokú együttható, célszerűnek mutatkozott egy egyszerűsítés vizsgálata, mely a (14)-ben bemutatott formájú átviteli függvényt eredményezte. Összehasonlítva az eredetivel, a 7. ábra Bode-diagramja alapján megállapítható, hogy 10 rad/s feletti körfrekvenciák esetében amplitúdóban jelentős és fázisban csekély eltérés tapasztalható. Ez a frekvencia azonban már nem jellemző a hajtómű üzeme-re, tehát kijelenthetjük, hogy az általunk alkalmazott közelítés céljainknak megfelel [18].

$$G(s) = \frac{-0.06671}{s^2 + 5.282s + 7.24} \quad (14)$$

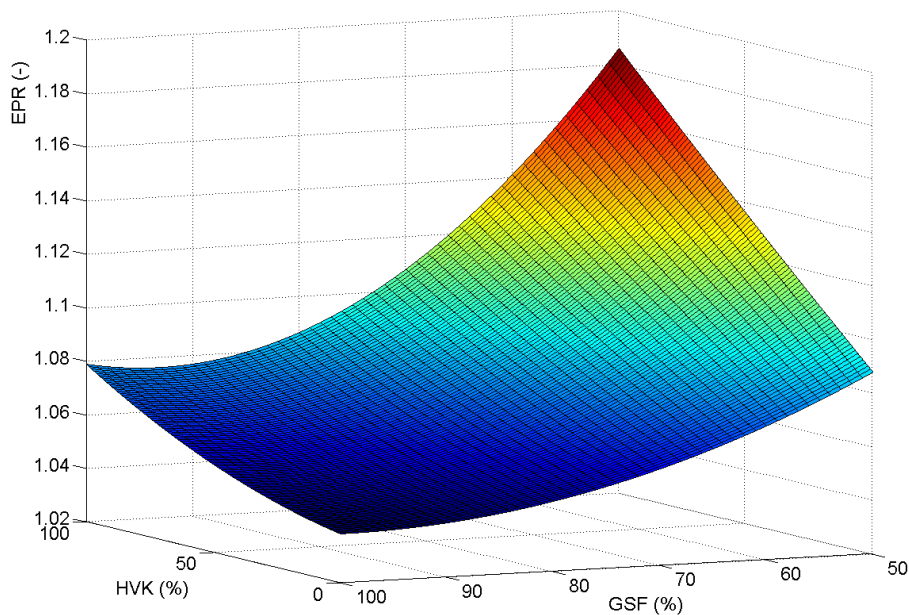
A rendszer átviteli függvényének meghatározását követően egy PID¹⁴ szabályozót terveztünk, tekintettel annak sokoldalúságára, egyszerűségére [7], melynek optimális beállítását a MATLAB automatikus hangoló funkciójának segítségével értük el.

¹⁴ PID: Proporcionális-Integráló-Deriváló soros kompenzációs szabályozás



7. ábra A (13) és (14) átviteli függvények összehasonlítása Bode diagramban

Tekintettel arra, hogy a változtatható geometriával rendelkező sugárhajtóművekkel ellentétben a TKT-1 esetében a GSF keresztmetszet tetszőlegesen állítható a fordulatszámától függetlenül, ezért a szabályozásban referenciaként a két független beavatkozó jelet figyelembe kellett venni. Így alakult ki az elvárt EPR jellegfelület, mely tehát a HVK és GSF állások függvénye, amit a 8. ábra mutat. Mint az jól megfigyelhető, a hajtómű nyomásviszonya csekély változást mutat abban az esetben, ha a GSF teljesen nyitva van (100%-os helyzetben), míg a hatása növekszik, amennyiben a kilépő keresztmetszet csökken, jól érzékeltetve azt a körülményt, hogy közel azonos közegmennyiséget csak jelentősen megnövekedett fűvócső rendelkezésre álló nyomásviszony képes számottevően kisebb felületen keresztül átmozgatni. A jellegfelület keresztregresszió segítségével a (15) által mutatott kétváltozós másodfokú függvényként került meghatározásra, amely ilyen formán került beprogramozásra a mikrokontrollerbe [12].



8. ábra Az elvárt hajtómű nyomásviszonya a GSF és HVK függvényeként

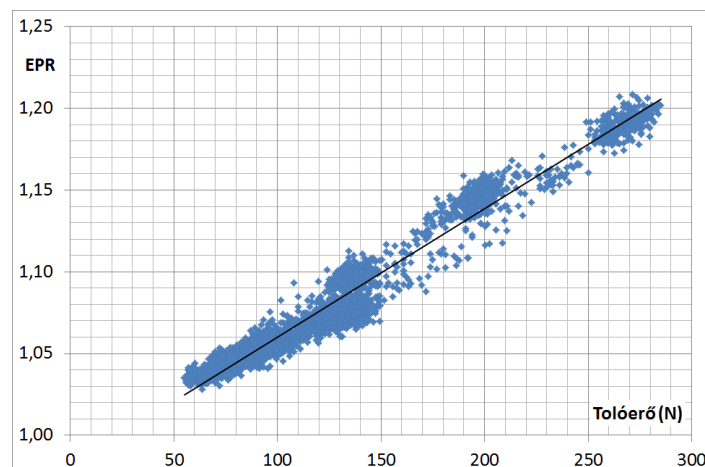
$$\begin{aligned}
 \text{EPR}(\text{HVK}, \text{GVK}) = & \frac{(0,0366 \cdot \text{GVK} - 1,3844)}{10^6} \cdot \text{HVK}^2 + \\
 & + \frac{0,000389 \cdot \text{GVK}^2 - 0,073525 \cdot \text{GVK} + 3,6397}{10^3} \cdot \text{HVK} + \quad (15) \\
 & + 0,00002 \cdot \text{GVK}^2 - 0,0039887 \cdot \text{GVK} + 1,2371
 \end{aligned}$$

Ezen kívül számos beállítási lehetőség is kialakításra került, melyekkel a szabályozó aktuális viselkedése módosítható, pl. amennyiben a működés során eltérő paraméterek tesztelése válik szükségessé a PID szabályozó valósidejű hangolása céljából, ezen beavatkozások azonnal elvégezhetőek, és hatásuk is rögtön érvényre kerül.

Míndezeken felül a PELE3 rendelkezik egy korlátozott önellenőrző képességgel (BITE¹⁵), mely a nyomásérzékelők, valamint a hajtóművet üzemeltető személyzet által adott HVK és GSF referenciák esetében képes kiszűrni a hibás adatokat, és ebben az esetben a kijelzőn az adott érték utolsó számjegye helyett „x” jelet téve a kezelő személyzet tudtára adni a rendellenességet. Ahogy ez az iparban is széles körben elterjedt és napjainkban is beható kutatások folynak ezen a területen [3], a PELE3 esetében is fontos feladat volt a BITE kiépítése, hogy ezzel megkezdjük egy alaposabb lehetőségekkel rendelkező diagnosztikai alrendszer megvalósítását, mely részint a fejlesztést hivatott segíteni, de leginkább a hajtómű üzembiztonságának növelése az elsődleges cél.

A szabályozórendszerrel végzett mérések

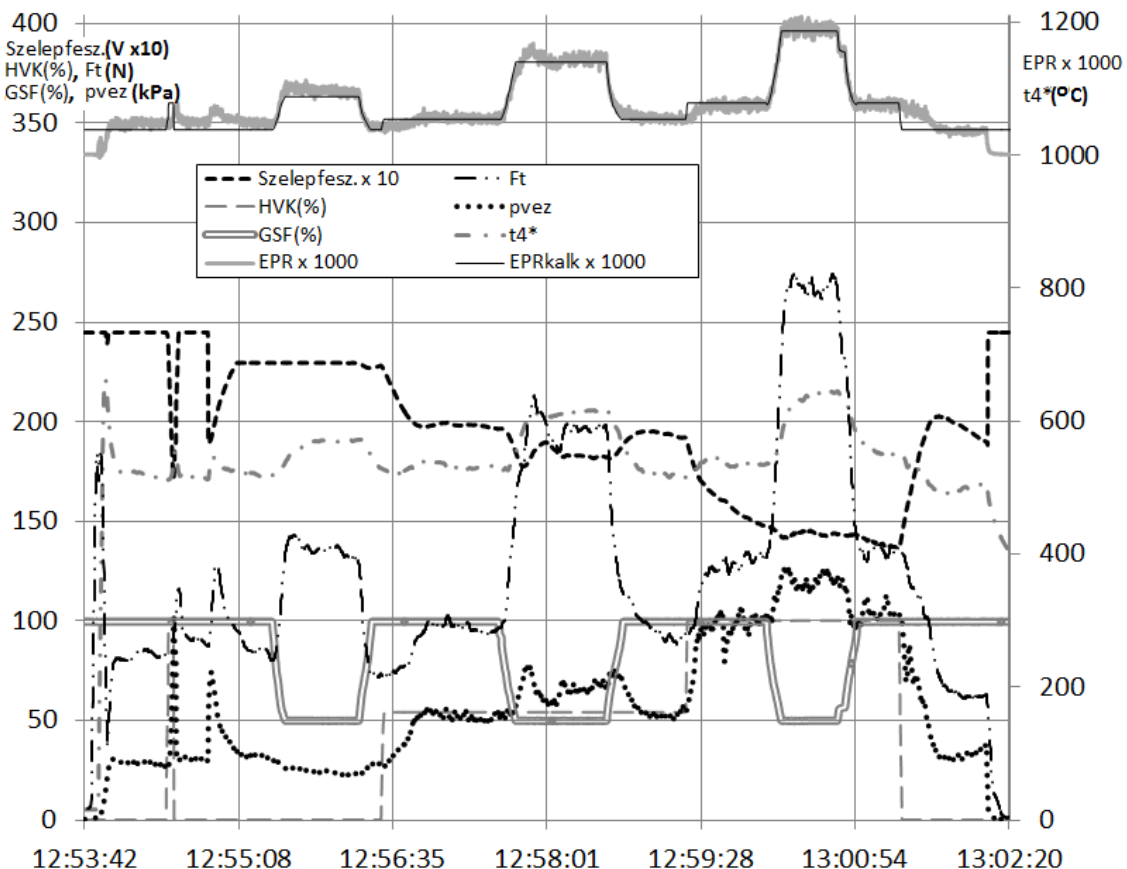
A PELE3 elkészültét követően különböző méréseknek vetettük alá, melyek javarészt sikeresnek mondhatóak, de vannak olyan területek is, ahol további fejlesztésekre van szükség. Az első ilyen mérés során néhány jellegzetes fordulatszámokon végeztünk hosszabb járatásokat, annak érdekében, hogy az egyes üzemállapotok stabilizálódhassanak. Ennek eredményeképpen két fontos összefüggést mutatunk be, melyek közül az első az EPR és a tolóerő kapcsolatát írja le, és a 9. ábrán látható. Megállapítható, hogy jól korrelál a két paraméter, viszont a mérés igen zajos, a későbbiekben a nyomásszenzor pneumatikus, valamint elektromos oldalát is behatóan meg kell vizsgálni, hogy az effajta pontatlanságok csökkenthetőek legyenek.



9. ábra A hajtómű nyomásviszony és a tolóerő összefüggése

¹⁵ BITE: Built-In Test Equipment, beépített önellenőrző egység

A második diagram, melyet a 9. ábra mutat, a mérés lefolyását vázolja fel a legfontosabb paraméterek tükrében. Megfigyelhető a diagram tetején a referencia és mért EPR értékek együttléte, melyről megállapítható, hogy amikor a GSF változtatás hatására jelentős EPR referencia módosulás jön létre, a szabályozó megfelelő módon követi le a változásokat. Amikor azonban HVK állítás történik, amire kevésbé erőteljesen változik a hajtómű nyomásviszony nyitott GSF mellett (tekintettel arra, hogy minden fordulatszám-változtatás előtt a fűvócsövet teljesen ki-nyitottuk), a szabályozó reakcióideje jelentősen megnyúlik, ami az elégtelen P-tag értékre utalhat. Ennek megfelelően a továbbiakban a szabályozó hangolása válik szükségessé, hogy az ilyen jellegű késleltetéseket minimális mértékre lehessen korlátozni.



10. ábra Egy jellegzetes mérés az EPR alapú szabályozóval

EGYÉB FEJLESZTÉSEK

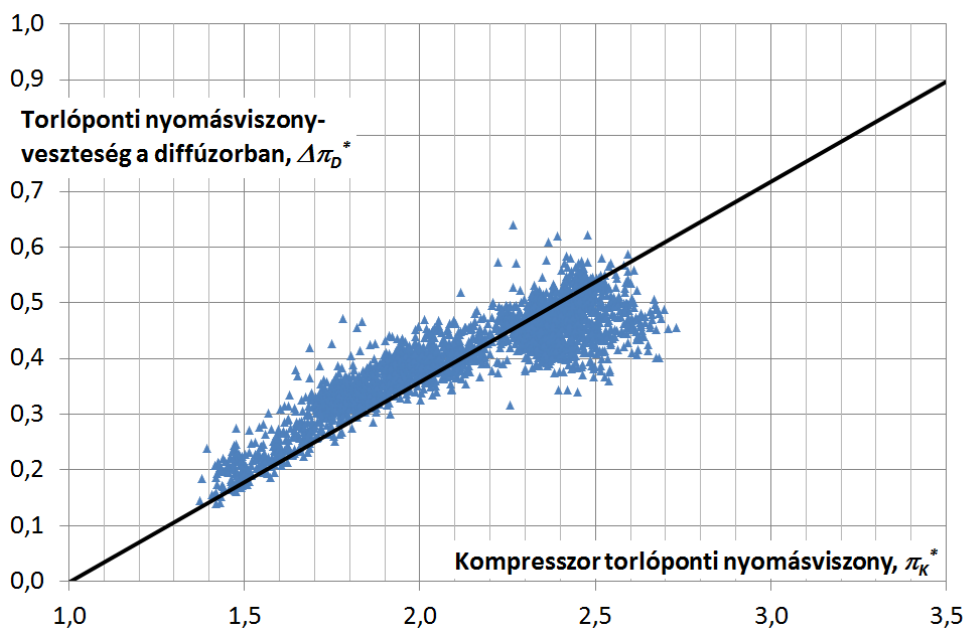
A kompresszor állólapátosításának módosítása

A szabályozórendszer továbbfejlesztése mellett a gázturbinás sugárhajtómű kapcsán is történtek előrelépések. Ezek egyike a centrifugális kompresszor állólapátosításának (diffúzorának) áttervezése, illetve az előtervek numerikus áramlástani szoftverrel való ellenőrzése. A diffúzorlapátok megváltoztatására az adott nyomós okot, hogy a diffúzorház belső felületén egyértelmű leválási nyomokat lehet felfedezni, mely a lapátosítás elégtelen hatásfokára utal, ezt mutatja a 11. ábra.



11. ábra A TKT-1 diffúzor háza belülről a lapátok körüli leválási nyomokkal

A helyzet alaposabb megismerése érdekében a mérő-adatgyűjtő rendszer is továbbfejlesztésre került, a diffúzorházon kialakításra került négy fali statikus nyomás felvételére alkalmas csomópont, melyek egy közös csövön keresztül egy újonnan beépített piezorezisztív nyomásérzékelőhöz jut, onnan pedig az adatgyűjtő egységeken keresztül a vezérlő számítógéphez. A diffúzor utáni keresztmetszetbe további négy K típusú (krómel-alumel) hőelemet helyeztünk el, statikus hőmérséklet mérése céljából, tekintettel arra, hogy energiabevezetés híján a kompresszor járókerék előtti torlóponthoz képest csak a mérési hiba okán lehetne eltérés. A négy hőelemet sorba kötve a négy mérési pont egyedi feszültségeinek összege kerül mérésre, amit aztán a hőelemek számával osztva átlagos értéket nyerhetünk. Ezen kívül a tüzelőanyag-rendszer alkalmazta eddig az égéstér köpenyén kialakított torlóponthoz képest, most egy elágazáson keresztül ezt az információt is rögzítjük. Továbbá, ami bár már régóta rendelkezésre állt, mint lehetőség, csak nyomásérzékelő híján nem tudtuk digitalizálni, a kompresszor járókerék utáni fali statikus nyomás is bekötésre került a kiértékelő rendszerbe.



12. ábra A diffúzor torlóponthoz viszonyított nyomásviszony-vesztése

Ezzel a kibővített konfigurációval több mérést is végeztünk, hogy megállapítsuk a diffúzor veszteségét, és számottevő eltérést tapasztaltunk a diffúzor belépés és kilépés között, mely magyarázatot ad az áramlási tér belső falán található leválási nyomokra. A 12. ábrán mutatjuk be a mért összefüggést a belépő és kilépő nyomás között, valamint a veszteségi tényező értékelését. Mint az látható, a hajtómű a biztonságos érdekében messze üzemelt a névleges pontjától, a mérés során maximálisan elért 2,7-es nyomásviszony a méretezési fordulatszámnak közelítőleg 85%-ánál jön létre. Ekkor azonban már 0,5-ös nyomásviszony-csökkenésnek megfelelő veszteségnek keletkeznek a diffúzorban, amit extrapolálva a 3,5-ös névleges nyomásviszonyra [15], ott 0,9-es különbség valósulna meg. Ha a veszteségek növekedése a nagyobb fordulatszám-tartományon a mérttel megegyező tendenciát mutat, akkor ez annyit jelent, hogy a járókerék nagyjából 4,4-es torlóponti nyomásviszonyt hoz létre névleges körülmények között, melyből az állólapátózás azonnal felemészt 0,9-et, így hozva létre a végleges 3,5-es értéket. Tekintettel a járókerék radiális lapátózására, a méretezési 50500 1/min fordulatszámra, illetve a forgólapátok kilépő $D_2 = 175\text{mm}$ átmérőjét [5], teljesen ideális viszonyokat feltételezve az előállítható elméleti nyomásviszonyt a termodinamikai és áramlástanai oldalról megközelített teljesítmény kifejezésével határozhatjuk meg. Egyszerűsítve a tömegárammal, a bal oldalon az ideális adiabatikus kompresszió technikai munkája jelenik meg, jobb oldalon pedig a perdületmentes belépést feltételező Euler turbinaegyenlete látható. Figyelembe kell venni természetesen a járókerék lapátcsatornáiból kilépő közeg perdületapadását, melyet $\lambda \approx 0,85$ értékkel lehet közelíteni a TKT-1 esetében [5]. A gázjellemzők közül az izobár fajhőre $c_p \approx 1012 \text{ J/kgK}$, az adiabatikus kitevőre pedig $\kappa \approx 1,396$ értéket lehet közelítőleg felvenni a várt hőmérséklet-tartományban.

$$c_p \cdot T_1^* \cdot \left(\pi_{K,elm}^* \frac{\kappa-1}{\kappa} - 1 \right) = u_2 \cdot c_{2u} \quad (16)$$

ahol

- c_p a kompresszor munkaközegének közepes izobár fajhője
- T_1^* a kompresszorba belépő közeg torlóponti hőmérséklete
- $\pi_{K,elm}^*$ a kompresszor elméleti torlóponti nyomásviszonya
- u_2 a járókerék külső kerületi sebessége
- c_{2u} a munkaközeg kilépő sebességének kerületi komponense

Rendezve a (16) egyenletet, az elméleti nyomásviszony:

$$\pi_{K,elm}^* = \left(\frac{u_2 \cdot c_{2u}}{c_p \cdot T_1^*} + 1 \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = \left[\frac{0,75 \cdot \left(462,73 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{1012 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 288\text{K}} + 1 \right]^{\frac{1,396}{0,396}} \approx 5,52 \quad (17)$$

Vagyis kifejezve a névleges nyomásviszonyból számítható hasznos technikai munka segítségével a teljes kompresszor hatásfokát, valamint a feltételezett 4,4-es járókerék torlóponti nyomásviszony alapján pedig a járókerék hatásfokát kaphatjuk meg. Mint látható, a járókerék nagyjából 84%-os, a teljes kompresszor 68%-os értékekkel rendelkezik, ami közelítőleg 82%-os

diffúzor hatásfokot feltételez. Ez azt jelenti, hogy az állólapátózás közel azonos, vagy esetleg csekély mértékben kedvezőtlenebb körülményeket teremt a kompresszió során, mint a járókerék, holott ez utóbbiban pl. résvesztés és számos más hatás érvényesül, melyek alapvetően rosszabb feltételeket jelentenek.

$$\eta_K^* = \frac{c_p \cdot T_1^* \cdot \left(\pi_{K,mér}^* \frac{\kappa-1}{\kappa} - 1 \right)}{c_p \cdot T_1^* \cdot \left(\pi_{K,elm}^* \frac{\kappa-1}{\kappa} - 1 \right)} = \frac{(3,5^{0,2857} - 1)}{(5,52^{0,2857} - 1)} = \frac{0,4303}{0,6289} = 0,684 \quad (18)$$

$$\eta_{JK}^* = \frac{c_p \cdot T_1^* \cdot \left(\pi_{JK}^* \frac{\kappa-1}{\kappa} - 1 \right)}{c_p \cdot T_1^* \cdot \left(\pi_{K,elm}^* \frac{\kappa-1}{\kappa} - 1 \right)} = \frac{(4,4^{0,2857} - 1)}{(5,52^{0,2857} - 1)} = \frac{0,5270}{0,6289} = 0,838 \quad (19)$$

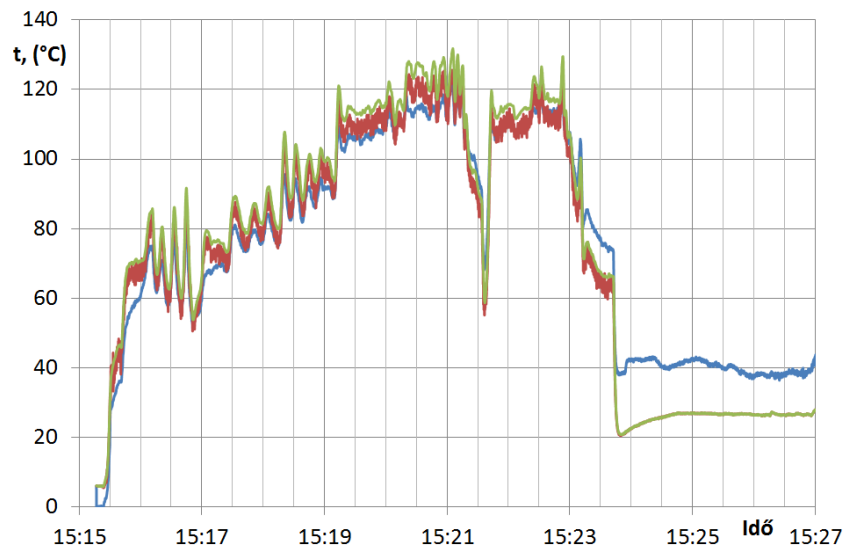
ahol

- η_K^* a kompresszor izentrópikus hatásfoka
- η_{JK}^* a járókerék izentrópikus hatásfoka
- $\pi_{K,mér}^*$ a kompresszor méretezési torlóponti nyomásviszonya
- π_{JK}^* a járókerék torlóponti nyomásviszonya

Az elvégzett mérések során a kompresszor járókerék utáni p_2 statikus nyomásmérő rendellenességeket mutatott, így azt a diffúzor statikus nyomásnövekedésének megállapítására nem tudtuk figyelembe venni. Azonban a T_2 statikus hőmérséklet ellenőrzése megtörtént a diffúzor utáni torlóponti és statikus nyomás ismeretében, ezt az elfogadható korrelációt mutatja a 13. ábra, mely a gázdinamika alapján [10] a (20) egyenlettel írható fel, mely lényegében (7) átrendezett alakja. A torlóponti hőmérséklet csak egy érdekes összehasonlítás végett került a diagramra, mely a diffúzor hősugárzást leárnyékoló hatását szemlélteti. A hajtómű leállítását követően, nem sokkal 15:24 előtt a diffúzor előtt elhelyezett torlóponti szenzor számottevően alacsonyabb hőfokot kezd jelezni a diffúzor utáni statikus érzékelőhöz képest, ami megmarad a leállított állapot során az idősor végéig. Ennek oka a felhevült égéster köpeny hősugárzása, mely eléri a diffúzor utáni (statikus hőfokot mérő) hőelemet, viszont a járókerék utáni torlópontit nem befolyásolja.

$$T_2 = T_2^* \cdot \left(\frac{p_2}{p_2^*} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (20)$$

Ezek ismeretében kiemelt hangsúlyt kapott az állólapátózás áttervezése, mellyel nagymértékű javulást lehet előidézni a teljes hajtómű hatásfokát, illetve tolóerejét tekintve. Mindemellett fontos megemlíteni, hogy a diffúzor, mint álló komponens módosítása nagyobb eséllyel megvalósítható módosítás, mely mégis számottevő eredményre vezethet az áramlási csatorna veszteségeinek csökkentése terén.



13. ábra A kompresszor utáni mért (kék) és számított (piros) statikus, valamint torlóponthi (zöld) hőmérséklet

Egy készülő diplomaterv keretében részletes CFD¹⁶ vizsgálatok kerültek elvégzésre a diffúzorbeli áramlások feltérképezésére, másrészt pedig a fentebb említett mérőrendszer bővítéssel ezen számítások validálása történhetett meg. A numerikus áramlástani szoftver segítségével pedig új lapátozás kialakítására volt lehetőség, melyet gyors prototípus-gyártással valósítottunk meg. Az új lapátozás látványterve, valamint az elkészült mintadarab a 14. ábrán láthatóak.



14. ábra Az új diffúzor lapátozás látványterve és a kivitelezett példány

ELÉRT EREDMÉNYEK, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az elmúlt időszak ismételten nagy horderejű fejlesztéseket tett lehetővé a TKT-1 kísérleti és oktatási célú sugárhajtómű tekintetében. Elkészült a PELE szabályozó következő generációja,

¹⁶ CFD: Computational Fluid Dynamics, numerikus áramlástan



mely az eddigieken túl a hajtómű nyomásviszony szerinti irányítást is biztosítja, valamint képes olyan előre programozott bemenő jelet létrehozni, mellyel a gázturbina beavatkozó jelekre adott válasza is mérhető. Habár még nem nevezhető teljes hatáskörű szabályozónak, fontos lépcső a bonyolultabb rendszerek megalkotásának folyamatában, az ezzel nyert tapasztalatok mind hardver, mind szoftver oldalon beépíthetőek a későbbi kutatásokba.

A továbbfejlesztés első lehetősége a már folyamatban lévő TEDDI rendszer moduláris elektronikáit illeti, melyekben a PELE3-mal nyert eredmények integrálhatóak. Ezen kívül maga a PELE rendszer is egycsatornás FADEC rendszerré alakítható, ezáltal az újabb konstrukciók további információkkal bővíthetnek, melyek a pontosabb, hatékonyabb működést szolgálják. Érdekes és egyben fontos irányzatot a PID megoldáson kívüli, további lineáris és nemlineáris irányítási algoritmusok kifejlesztése, valamint tesztelése.

Folyamatban van egy másik, elsődlegesen a 100-300N tolóerő tartományba eső modell sugárhajtóművek szabályozórendszerének kifejlesztése is, ezzel olyan lehetőségek is adódnak, melyek messze túlmutatnak a földi, telepített próbapad adta korlátokon, pl. tolóerő automata funkció létrehozása, távirányítással történő működés.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Varinex Kft-nek, akik lehetővé tették az új diffúzor lapátok megvalósítását gyors prototípus-gyártásuk keretében. Ezen kívül köszönet illeti HORVÁTH ÁDÁMOT és TÓTH VILMOST, a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék repülőgépezés hallgatóit, akik az EPR szerinti szabályozás kidolgozásában, illetve a diffúzor módosítási munkálataiban vettek részt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Airbus A320 Maintenance Training Manual. AEROK Kft., Budapest, 2013.
- [2] ANDOGA, R., MADARÁSZ, L., FŐZŐ, L., LAZAR, T., GAŠPAR, V.: Innovative approaches in modeling, control and diagnostics of small turbojet engines. In: Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 10, no. 5 (2013), p. 81-99. ISSN 1785-8860.
- [3] ANDOGA, R., FŐZŐ, L., MADARÁSZ, L., KAROL, T.: A Digital Diagnostic System for a Small Turbojet Engine, In: Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 10, no. 4 (2013), p. 45-58. ISSN 1785-8860
- [4] BENEDA Károly Tamás: A TKT-1 sugárhajtómű fejlesztése és alkalmazása a BME repülőgépes képzésében. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2010. HU ISSN 1789-770X.
- [5] BENEDA Károly Tamás: Centrifugálkompresszor fali megcsapolásán alapuló aktív pompázs-szabályzásának matematikai modellje. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2010. HU ISSN 1789-770X.
- [6] BENEDA Károly Tamás – HORVÁTH Ádám – TÓTH Vilmos: A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű fejlesztése. Repüléstudományi Konferencia. Szolnok, 2013. HU ISSN 1789-770X, pp.
- [7] BHATTACHARYYA, S. P.; DATTA, A.; and KEEL, L. H.: Linear Control Theory: structure, robustness, and optimization. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton (FL), USA, 2009. ISBN 978-0-8493-4063-5.
- [8] CLIFFORD, Michelle: Water Level Monitoring. Freescale Application Note AN1950, 2006.
- [9] DORF, Richard C.; and BISHOP, Robert H.: Modern Control Systems. Tenth Edition. Pearson Educational International, Upper Saddle River, 2005. ISBN 0-13-127765-0.
- [10] GRUBER, J., SZENTMÁRTONY, T.: Gázdinamika. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest, 1954.
- [11] HORVÁTH Ádám – TÓTH Vilmos – BENEDA Károly Tamás: A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű tüzelőanyag- és szabályozó rendszerének fejlesztése. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2012. HU ISSN 1789-770X, pp. 854-879.
- [12] HORVÁTH Ádám: Teljes hatáskörű digitális elektronikus szabályozórendszer tervezése kisméretű sugárhajtóműhöz. Diplomaterv, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2013.
- [13] LOGAN, Earl Jr. and ROY, Ramendra (ed.): Handbook of Turbomachinery. Marcel Dekker, Inc.; New York, 2003. ISBN 0-8247-0995-0.
- [14] PRATT and WHITNEY: F100-PW-220E Training Course, Engine Familiarization. Pratt & Whitney Engine Technical Institute, Document Number ET 91-014.
- [15] Re/872. Az 55 típusú hajtómű műszaki üzemeltetési szakutasítás 2. könyv. Honvédelmi Minisztérium, 1980.
- [16] ROWE, Arthur L.; KURZ, Nikolaus: Control System for a Ducted Fan Gas Turbine Engine, United Kingdom, 1997. október 30.
- [17] SÁNTA Imre: Repülőgép hajtóművek elmélete II. Előadásvázlatok, BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2009.
- [18] WATANABE, A., ÖLÇMEN, S. M., LELAND, R., WHITAKER, K. W., TREVINO, L. C.: Soft Computing Applications on SR-30 Turbojet Engine. 1st AIAA Intelligent Systems Technical Conference Chicago, September 20-22, 2004

Ványa László¹

LÉZERFEGYVEREK A REPÜLŐGÉPEKEN ÉS A LÉGI JÁRMŰVEK ELLEN²

Theodore H. Maiman alkotta meg az első működő lézert 1960-ban. A lézerek katonai alkalmazása része az irányított energiájú fegyvereknek. A lézerfegyverek technológiája sok tekintetben forradalmasítja a hadviselést. A lézerfegyverek telepíthetők repülőgépre, helikopterre és alkalmazhatók a földről, tengerről a repülőgépek, rakéták, pilóta nélküli repülőgépek, léghajók, sőt mi több, aknavető gránátok vagy lövedékek ellen. Ezen cikk bemutatja a katonai lézer eszközök csoportjait, tipikus alkalmazásait és a nagy energiájú lézer fegyverek fejlesztésének főbb programjait a világ nagy hadseregeiben.

LASER WEAPONS ON AIRCRAFTS AND AGAINST AERIAL VEHICLES

Theodore H. Maiman operated the first functioning laser in 1960. The military use of lasers is part of directed energy weapons. The technology of laser weapons will revolutionizes a lot of aspects of warfare. The laser weapons may installed on aircrafts, helicopters and may use from ground, sea against aircrafts, rockets, unmanned aerial vehicles, blimps and what is more against mortar shells or steel balls. This article presents the categories and the typical applications of military laser devices and the main development programs of high energy laser weapons in the great armies of world.

Az új technológiák kifejlesztésére törekvés és a hadviselés egymást kölcsönösen gerjesztő folyamat évezredek óta. Hol a hadakozók eredményességének vagy védőképességének növelésére kerestek hatékonyabb megoldásokat, hol a technikai fejlődés eredményeit akarták bevezetni utóbb a katonai eljárásokba. Előbbire jó példa lehet a nyilak ellen védő páncélok megalakotása, utóbbira pedig a rádió, a repülőgép vagy akár az atomtechnológia, amelyek korszakos hatást gyakoroltak a hadviselés módjára és menetére.

Ezen írás a lézersugár katonai célú felhasználásával és ezen belül, elsősorban a fegyverként való alkalmazásával foglalkozik, különös tekintettel a repülésre, a repülő technikára. Mára közismert fizikai folyamat a lézerfény létrehozása. Albert Einstein és mások által végzett kvantummechanikai kutatások eredményeinek felhasználásával Charles Hard Townes 1957-ben az indukált emisszió kihasználásával mikrohullámú erősítőt – úgynevezett mézert épített. 1958-ban Arthur L. Schawlow-al olyan szerkezetet építettek, amely a mikrohullámok helyett, azoknál egy nagyságrenddel rövidebb hullámhosszú, erősített optikai fényt sugárzott ki és ez lett a lézer alapfelfedezése [1]. A lézer szó a *light amplification by stimulated emission of radiation* angol kifejezés rövidítésével jött létre, ami magyarul gerjesztett fényerősítéssel létrehozott sugárzást jelent. Az első valóban működő lézer egy impulzusüzemű rubinlézer volt, amelyet Theodore H. Maiman épített meg 1960-ban. A létrejött lézerfény speciális tulajdonságokkal bír:

1. a kibocsátott fény monokromatikus, vagyis egyhullámhosszú;

¹ ezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, HHK, vanya.laszlo@uni-nke.hu

² Lektorálta: Dr. Szilvássy László alezredes, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, szilvassy.laszlo@uni-nke.hu

2. a fénynyaláb koherens, nagy távolságon is csak kevésbé szóródik;
3. kis felületen nagy energiasűrűség érhető el [2].

A technika fejlődésével igen sok ipari, gyógyászati, mérés-technikai, anyag megmunkálási, hírközlési, informatikai adattárolási, szórakoztató elektronikai alkalmazást dolgoztak ki a felhasználásával és a felhasználók között a hadseregek sem maradtak le, a sok egyéb mellett, a fegyvercélú alkalmazások kifejlesztésével. A lézer tehát mintegy öt évtizedes létezése során óriási teret hódított, amelyek közül a fegyvercélú alkalmazási kutatások sem idősebbek sokkal harminc évnel. A továbbiakban a repülőgépeken telepített, valamint a repülő eszközök ellen használható lézereszközöket tekintjük át.

A LÉZERFEGYVER AZ IRÁNYÍTOTT ENRGIAJÚ FEGYVEREK EGY FAJTÁJA

Az irányított energiájú fegyverek fogalma forrásonként eltérő, nincs általánosan elfogadott formája. Az USA Védelmi Minisztériumának értelmező szótárában az irányított energiára, illetve az irányított energiájú fegyverre az alábbi meghatározást találjuk: „*Irányított energia (Directed Energy): olyan technológiák összefoglaló elnevezése, amelyek a koncentrált elektromágneses, atomi, vagy szubatomi részecskék nyalábjainak hatását foglalják magukba.*”

Az irányított energiájú fegyver meghatározása az elérendő célt határozza meg, alkalmazva a korábban megadott irányított energia fogalmát: „*Irányított energiájú fegyver (Directed-Energy Weapon): A fegyver vagy rendszer, amelyik irányított energiát használ, hogy használhatatlanná tegye, megrongálja vagy megsemmisítse az ellenség felszerelését, létesítményeit és/vagy élő erejét*”³ [3]

Az AAP-6 NATO Szakkifejezések és meghatározások szógyűjteményében egyetlen helyen fordul elő a *directed energy* – irányított energia kifejezés, mégpedig az „Elektronikai hadviselés” szócikkben: „*Elektronikai hadviselés: Az elektromágneses spektrum felhasználására irányuló katonai tevékenység, amely magában foglalja: az elektromágneses kisugárzások kutatását, felfedését és azonosítását, az elektromágneses - ezen belül az irányított energia - alkalmazását, abból a célból, hogy csökkentse vagy megakadályozza az elektromágneses spektrum ellenséges felhasználását, egyúttal biztosítsa hatékony használatát a saját erők számára.*” [4]

Jelen írás szerzője egy Irányított energiájú fegyverek c. egyetemi jegyzetben az alábbi fogalmat javasolta: „*Irányított energiájú fegyvernek nevezzük mindazon konstrukciókat, amelyek valamely energiafajtát a forrásból a céltárgyra irányítva és eljuttatva, abban fizikai, kémiai, biológiai vagy más hatások útján, átmeneti, vagy tartós változást, befolyást, károsodást, akár pusztítást okozhatnak.*”[5]

Ugyanebben a dokumentumban fő csoportjait tekintve az irányított energiájú eszközök egy felosztásának javasolta az alábbi:

- a kinetikus eszközök;
- az akusztikus eszközök;

³ Szerző fordításában

- a rádiófrekvenciás eszközök;
- a lézer eszközök;
- a részecske-sugár eszközök.

A kisugárzott teljesítmény szerint a lézereket lézerosztályokba sorolják. Az I. osztályba olyan zárt, igen kis teljesítményű eszközök tartoznak, amelyek veszélytelenek, működés közben nem léphet ki a fény. Ilyenek a lézernyomtatók, CD író-olvasók, stb. A II. osztályba tartoznak azok, amelyek teljesítménye kisebb, mint 1 mW, kiléphet a sugár és képesek szemkárosodást okozni, pl. pointerek. A II.a osztály hasonló, de csak 1000 s idő után keletkezik károsodás. A III.a osztályba az 1-5 mW-os lézerek tartoznak, szemkárosodást okozhatnak, ezért az ilyen alkalmazásoknál figyelmeztető tábla kihelyezése szükséges. A III.b osztályba az 5-500 mW teljesítményű folytonos lézerek tartoznak, valamint az impulzuslézerek közül a 10 J/cm^2 energiasűrűség alattiak. Már a visszaverődésről kapott fény is veszélyes lehet. Az e fölöttiek a IV. lézerosztályba tartoznak. [6]

A lézerfizikát katonai célokra alkalmazó eszközöket célszerű teljesítmény alapján csoportosítani, ami alapvetően meg is határozza a fő alkalmazási köröket.

KISTELJESÍTMÉNYŰ LÉZEREK

A kisteljesítményű lézerek a haditechnikai alkalmazásokban elsősorban fegyver céljelölőként, távmérőkben és pl. önirányító fejes harceszközök célmegjelölő eszközeként alkalmazzák. A lövészfegyverekre szerelt célmutató arra szolgál, hogy nagy dinamikájú akciókban, amikor nincs mód a fegyverre szerelt mechanikus célzó berendezést vagy optikai távcsövet használnia a harcolónak, akkor a „piros pont” mutatja, hogy a fegyver elsütése esetén hová fog a lövedék becsapódni. (1. kép)



1. kép Fegyverre szerelt lézeres célmutató (Red dot) [7]

A lézeres távolságmérés haditechnikai felhasználásban széles körben alkalmazott. Az olcsó kézi kivitelűtől kezdve, a drága hadikivitelűig, nagyon sokféle gyártmány létezik. (2. kép) A működés során egy gombnyomásra az eszköz és az általa kibocsátott lézersugár céltárgyba ütközési pontja közötti távolságot jelzi ki egy kijelzőn.



2. kép Lézeres katonai távmérő [8]

A katonai célú eszközökön a piros színű irányzófény áruló lehet, ezért a felderíthetőség csökkentése céljából a célzást optikai távcsővel végzik, a mérést is a nem látható fénytartományban működő lézer segítségével végzik el.

A lézeres célmegjelölés másik alkalmazott területe a csapásmérő fegyverrel kombinált célmegjelölő eszköz, amely lehet a fegyveren, amely a célba való becsapódásig rajta tartja a megvilágító sugarat a céltárgyon és a pl. páncéltörő rakéta önirányító feje a célról visszavert jelre vezeti rá magát. Ennél korszerűbb megoldások is léteznek, pl. amikor egy pilóta nélküli repülőgép, vagy egy, a kötelékben repülő másik repülőgép végzi a célmegjelölést és a csapásmérést egészen máshonnan váltják ki. Ennek azért van jelentősége, mert a lézeres célmegjelölést besugárzásjelzővel detektálni lehet és a megvilágítás irányába valamilyen ellentevékenységet lehet folytatni, védelmi rendszabályt életbe léptetni, ugyanakkor a csapásmérő eszköz valós helye rejtve marad és az ellentevékenység sem éri olyan hatékonysággal. A magyar Gripen repülőgépek is rendelkeznek egy Litening III. típusú lézeres célmegjelölő konténer rendszerrel. (3. kép)



3. kép A Litening III. célmegjelölő konténer [9]

A Litening III. konténer 2,21 m hosszú, 0,4 m átmérőjű és 208 kg tömegű, henger alakú függesztmény. Léghűtésű, az energiaellátással és a digitális adatkapcsolati csatlakozóival kapcsolódik a repülőgéphez. Felépítését tekintve hat, gyorsan cserélhető modulból áll, összeszabályozást nem igényel, egy teszt lefuttatása után harcckész. Beépített inerciális szenzorral szinkronizálja a kamerák tengelyét a radar antennájával. A pilóta a botkormányon és a gázkaron lévő

gombok segítségével pásztázhat a kamerával, zoomolhat és ha megtalálta a célt, ráviszi a célkeresztet és „befogja” a célt, amin a lézeres bomba becsapódásáig rajta is marad. Az infravörös hullám tartományú kamera 3-5 μm hullámhosszú FLIR⁴, amely detektora 640 x 512 pontból áll. A FLIR mellett van egy 3,5 x 3,5 fokos látószögű CCD⁵ kamera is, amely a látható fény mellett érzékeli a célról visszavert lézerefényt is. A felvételeket rögzítik a fedélzeten.

A lézeres célmegjelölő és a GPS kombinált alkalmazásával a célok pontos koordinátái is meghatározhatók, ami elégséges pontosságot biztosít ahhoz, hogy egy JDAM⁶ bomba eltalálja a célobjektumot.

A kis energiájú lézerek egy másik csoportja emberek ellen irányul. A dazzlerok⁷ elsősorban a szem kápráztatására szolgálnak. A célszemély megvilágítása esetén önkénytelenül behunyja a szemét, elfordul vagy fedezékbe húzódik, de mindenképpen zavar keletkezik harc közben. A *SaberShot* típus a kézfegyverekre illeszthető, zöld színű félvezető lézer. Gombnyomásra kapcsolható be és világítja meg a célt. A gyakorlatban komoly pszichés hatást tapasztaltak az alkalmazása során, hiszen a célszemély a besugárzásra rejtőzködéssel reagál. A kézi változata 500 m-ig, a járműre épített változata 2000 m-ig hatásos. (4. kép)



4. kép. Járműre szerelt laser dazzler [10]

A Saber-203 (5. kép) típus egy félvezető lézer alapú lézeres vakító eszköz, amelyet az M-16 karabély 40 mm-es gránátvetőjének csövébe lehet egy gránáttöltési mozdulattal behelyezni. A hatásos távolsága eléri a 300 m-t. Az USA Légierő Kutató Intézet, Irányított Energiájú Eszközök Ügynöksége⁸ fejlesztette ki. [11]

⁴ FLIR – Forward Looking Infrared – előretekintő, infravörös tartományú érzékelő

⁵ CCD - Charge-coupled Device, azaz töltés-csatolt eszköz, itt fényérzékeny felületéről villamos jellé alakítja a rá vetődő képet, vagyis kameraként működik.

⁶ JDAM - Joint Direct Attack Munition (Egyesített Közvetlen Támadó Lőszer) pl. az amerikai GBU-31, GBU-35, GBU-38.

⁷ dazzling – káprázás

⁸ Air Force Research Laboratory's Directed Energy Directorate – DE/AFRL



5. kép A Saber-203 vakító eszköz a fegyverre szerelve [11]

Ezen lézerek teljesítményük alapján csupán az emberi látás zavarására, a kritikus pillanatokban figyelemelterelésre szolgálnak, mert egyébiránt a lézeres szemet roncsoló sugárzók harctéri alkalmazását hadijogi egyezmények tiltják. Ettől függetlenül feljegyzett már a történetírás ilyen jellegű súlyos sérüléseket is.

KÖZEPES TELJESÍTMÉNYŰ LÉZEREK

Ebbe a kategóriába azokat a katonai fejlesztésű lézer eszközöket soroljuk, amelyek kimondottan technikai eszközök vakítására, megrongálására szolgálnak, elsősorban nem ember ellen tervezték őket, ugyanakkor nem érik el még hatásukban azokat a lézereket, amelyek a céltárgyakat átégetik, súlyosan, mechanikailag is megrongálják. Az egyik ilyen alkalmazás a repülőgépeket, helikoptereket fenyegető infravörös önirányító fejes légvédelmi rakéták ellen kifejlesztett önvédelmi rendszer.

A *Guardian* rendszer, amelyet a 2002-es kenyai és a 2003-as bagdadi repülőtéren [12] végrehajtott kézi légvédelmi rakéta támadások tapasztalatait levonva dolgozott ki az amerikai Northrop Grumman cég kimondottan kommerciális alkalmazásra.

A repülőgépekre utólag is felszerelhető konténert a törzs alsó részén építik be. (6. kép) A konstrukció eredeti, katonai változata az AN/AAQ-24 [V] NEMESIS rendszer volt, amely több száz katonai repülőgépre és helikopterre került eddig felszerelésre. [13] A működés lényege az, hogy szenzorok figyelik a légteret és jelzik, ha rakétaindítás történt a közelben. A rakétaindítást a nagy intenzitású infravörös hajtómű kisugárzással lehet megkülönböztetni a terepen lévő egyéb hőforrások meglévő infravörös tartományú hőképétől. A veszélyre még az is jellemző, hogy a repülőgépből nézve a hőforrás helyzete, közeledési oldalszöge nemigen változik, ha a rakéta a repülőgép felé tart. A veszélyjelzésre a lézeres ellentévekenységi rendszer fejegysége a meghatározott irányba fordul és bekapcsolja a lézerforrást, amely vakítja, jó esetben súlyosabban meg is rongálja a nagyérzékenységű rávezető érzékelő fej elemet, így a rakéta az irányítójel hibája miatt célt téveszt⁹.

⁹ Video: Guardian™ Anti-Missile System: <https://www.youtube.com/watch?v=9x5pPnXAV9U>



6. kép A Guardian rendszer felszerelt állapotban [13]

2014. március 4-én jelent meg egy hír arról, hogy Izrael készen áll arra, hogy lézeres rakétavédelemmel szerelje fel polgári utasszállító repülőgépeit [14]. A hírben szereplő Elbit Systems által kifejlesztett SkyShield (Égi Pajzs) nevű rendszer ugyanúgy működik, mint a fentebb leírt Guardian. A repülőgép hasára utólag is felszerelhető konténerben az alsó légteret figyelő infravörös érzékelők találhatók, amelyek a rakétaindítás intenzív hőkisugárzását észlelik. Az irány meghatározása után egy elfordítható lézerforrás sugározza be a rakéta fejrészében található nagyérzékenységű hőpelengátort, amely a túlterhelés hatására telítésbe mehet, vagy akár tényleges fizikai sérülést is szenvedhet, így a szabályzórendszer a kormányműveknek nem képes korrekt utasításokat kidolgozni, a rakéta célt téveszt, és előbb-utóbb megsemmisül. A technika réges-rég ismert, az amerikai Lockheed Martin több hasonló rendszert is fejlesztett, elsősorban katonai célokra, helikopterek, szállító repülőgépek védelmére.

Mégis, a C-MUSIC elnevezést kapott izraeli változat az ELAL első polgári Boeing 737-800 polgári utasszállító repülőgépére minősítést szerzett változat. (7. kép)



7. kép Az Elbit Systems C-MUSIC DIRCM¹⁰ podja az ElAl repülőgépén [15]

A polgári légiközlekedésben már korábban is piacképes volt a Guardian rendszer például, azonban az elterjedésének az volt az akadálya, hogy akkor, a biztosítótársaságok azt mondták, hogy ha egy polgári járat olyan veszélyes övezetbe repül, ahol ilyen rakétavédelem szükséges, akkor ők nem biztosítják a repülőgépeket és ez a bejelentés erősen letörte a kezdeti lelkesedést. Ennek ellenére például az Egyesült Államok elnökének repülőgépe, az Air Force One szintén rendelkezik hasonló önvédelmi rendszerrel. A Boeing VC-25 (farokszám 29000) farok részén és a

¹⁰ DCIRM - Directional InfraRed CounterMeasure – irányított infravörös ellentevékenységi rendszer

négy hajtóműnél öt darab AN/ALQ-204 Matador infravörös impulzusüzemű ellentevékenységi eszköz található a hőkeresőfejes rakéták zavarására. (8. kép)

Rendelkezik ezen kívül egy AN/AAR-54(V) rakéta indításra figyelmeztető besugárzásjelzővel és egy AN/AAQ-24 NEMESIS DIRCM rendszerrel, valamint képes infracsapdák kivetésére is [16].



8. kép Az Air Force One farokrésze az AN/ALQ-204 rendszerrel [16]

NAGYTELJESÍTMÉNYŰ LÉZEREK

A magyar terminológiában már sok évvel ezelőtt meghonosodott az „átégető típusú lézerek” kifejezés, amely tulajdonképpen pontosan írja le azt a hatást, amelyet a lézertől vártak. A történelemben az ókorig visszanyúlik a „halálsugár” leírás, mint olyan fegyver, amely elégeti, megsemmisíti a céltárgyakat. Az első ilyen feljegyzés Archimedes (i.e. 287-212) görög tudós nevéhez fűződik, aki a legenda szerint i.e. 212-ben a támadó római hadihajókat tükörrel gyűjtött napsugarak segítségével gyújtotta fel. Fizikailag érthető és működő eljárás, kétségek csupán a hatótávolság és a technika azon színvonalának kérdésében merülhetnek fel.

A nagyteljesítményű lézerek *fegyvercélű* intenzív kutatásának szellemét az 1983-as csillagháborús terv – SDI¹¹ - szabadította ki a palackból. Az alapvető cél a Szovjetunió stratégiai interkontinentális ballisztikus rakétái elleni harc volt, amelyben a lézereknek óriási szerepet szántak. Ronald Reagan és a csillagháborús terv atyjának számító Teller Ede magyar származású fizikus hatalmas investíciókat lendített be. Teller a röntgenlézert, mint a rakétaelhárító arzenál titokba burkolódzó, legforradalmibb eszközét propagálta és kompakt méretével, sikeres kísérleteivel sorra győzte le versenytársait, győzte meg a Fehér Ház kételkedőit és elsősorban az elnököt. A terv hatalmas forrásokat nyert el és a mai napig kihat a nemzeti rakétavédelmi rendszer fejlesztés elemeire [17].

Az SDI program a világ két szuperhatalmát, az Egyesült Államokat és a Szovjetuniót gazdaságilag súlyosan megterhelte, de a projektek 90-es években való leállítását követően néhány téma tovább élt. A stratégiai rakétavédelmi rendszer létrehozására való törekvés annak ellenére nem került le a napirendről, hogy nemzetközi tárgyalásokkal igyekeznek tiltás alatt tartani. Más hangsúlyokat kapott, újabb fenyegetések jelentek meg, amelyekre megfelelő válaszokat lehetett nyerni a program addig elért eredményeiből.

Az egyik ilyen folytatott téma a YAL-1A ABL – Airborne Laser Weapon – repülőgép fedélzeti

¹¹ SDI – Strategic Defense Initiative – Hadászati Védelmi Kezdeményezés

lézerfegyver program volt. A hordozó eszköz egy átalakított Boeing 747-400F volt, amely a 9. képen látható.



9. kép A YAL-1A repülőgép fedélzeti lézerfegyver hordozója [18]

A YAL-1A egy átalakított Boeing 747-400F típusú repülőgépre került felépítésre. Fejlesztője az Air Force Research Laboratory, a Team ABL, a Boeing, a TRW (most Northrop Grumman Space Technologies) és a Lockheed Martin cég volt.

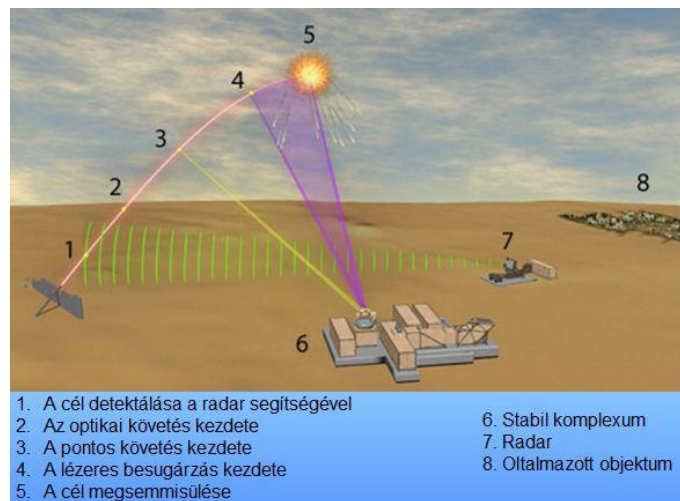
A fedélzetre egy 1,315 μm hullámhosszúságú, oxigén-jodid vegyi lézert építettek be, amely egy hullámvezető rendszeren keresztül az orrban elhelyezett 1,5 m átmérőjű, forgatható tükörrendszerre vezette a mintegy 1 MW teljesítményű lézersugarat. A feladata a felszálló interkontinentális ballisztikus rakéták észlelése, követése, és megsemmisítése volt, amelyhez kellett egy érzékelő és követő, célzó rendszer is. Az érzékelést a repülőgép több pontján elhelyezett infravörös hullámtartományú szenzorhálózat végezte. A rakétaindítás során létrejött hőforrást egy mintegy 1 kW teljesítményű követő lézer mérte, határozta meg a távolságát és többek között ez a lézer szolgáltatott adatokat a légkör szóródási paramétereiről, amely befolyásolta a főnyaláb fókuszálását is. Az ABL rendszer az AWACS rendszertől, a földi rádiólokációs rendszerből is kaphatott adatokat a Link-16 segítségével. A valós repüléseket és tesztek 2007-től kezdték meg. 2009 augusztusában valós ballisztikus rakétára hajtottak végre sikeres lövést. Még 2010-ben is sikeres tesztek repültek, majd ez után a programot anyagi okokból leállították [18].

Belátható volt, hogy a kiemelkedő műszaki eredmények ellenére a program kivitelezhetetlen. Katonai szakértők mindig is vitatták, mivel a jelentős hatótávolság ellenére a teljes kontinentális rakétavédelmi rendszerhez szükséges repülőgép darabszám, pilóta és kezelőszemélyzet, repülési üzemóra 24/365 rendben, a javítás, fenntartás és más költségek csillagászati összegeket tennének ki, így a rendszer teljes arzenálja fenntarthatatlan.

A fizikai kutatási eredmények nem vesztek el, hiszen a földi, vagy a kisebb teljesítményű, repülőgép/helikopter fedélzeti lézer fegyverkutatásokban tovább hasznosították. Az egyik ilyen program a THEL – Tactical High Energy Laser – Harcászati Nagyenergiájú Lézer rendszer. Az Egyesült Államok és Izrael közösen fejlesztette 1996 óta. Létezik stabil és mobil változata is. A fő feladata a harcászati-hadműveleti rakéták röppályán való megsemmisítése. Viszonylag kis hatótávolságú, de Izrael számára elsősorban a szomszédos országok felől fenyegető támadások elhárítására megfelel. A rendszer elemei közé egy fázisvezérelt rácsantennás radar, a lézersugarat előállító sugárzó rendszer, az irányító- és az energiaellátó rendszer tartozik [19]. A lézeregység és a radar 11. képen látható. A THEL tesztjei során több száz BM-21 kategóriájú sorozatvetőből kilőtt rakétát semmisítettek meg, szinte 100% valószínűséggel.

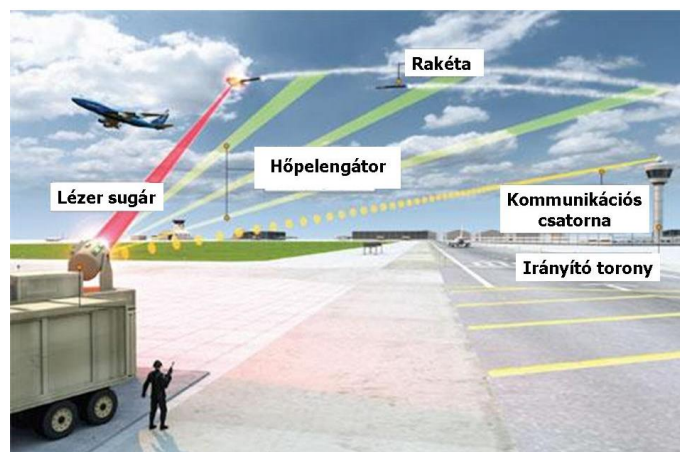


11. kép A THEL rendszer lézeregysége és radarja [19]



12. kép A THEL működésének folyamata [19] (magyarította a szerző)

A fenyegetések nem csak nagyméretű objektumok ellen várhatók, hanem pl. felszálló repülőgépeknél, a repülőterek közeléből indított légvédelmi rakéták által. A Northrop Grumman cég által kifejlesztett Skyguard védelmi rendszer (13. kép) éppen az ilyen támadások ellen védené a repülőgépeket. A működése analóg a THEL működésével, azonban a követést infralézerrel megvalósított követőrendszer végzi, nem radar.



13. kép A Skyguard rendszer vázlata [19] (magyarította a szerző)

Ezek az utóbbi rendszerek mintapéldányoknak is tekinthetők, működő modellnek, amelyek igazolták a konstruktőrök céljait, bizonyították a megvalósíthatóságot, ugyanakkor nem kerültek

(egyenlőre) valódi alkalmazásra, telepítésre. Az USA ATL programja könnyű, olcsóbb lézerfegyver fejlesztésére irányul, amely pl. az AC-130 Spectre, vagy a V-22 Osprey fedélzetére került telepítésre. 2007-2008-ra egy C-130 Herculesre megépült egy mintegy 1 MW teljesítményű lézer, amely sikeres tesztekhez hajtott végre a Kirtland légi bázisról, Új Mexikóban [19].

Légi és földi lézerprogrammal¹² rendelkezik Oroszország is. Az Almaz/Beriev A60¹³ repülőgépet 1981-ben, majd a másodikat 1991-ben építették. A hordozó egy IL-76MD, a fedélzeten széndioxid lézerrel. A forgatható tükörrendszer az orrban helyezkedik el. (14. kép.)



14. kép Az Almaz/Beriev A60 lézerfegyverrel épített repülőgépe [19]

Az NBC NEWS 2013. április 8-án hozta le a hírt, miszerint az Egyesült Államok haditengerészete tulajdonképpen elsőként ténylegesen rendszerbe állítja a kimondottan hajófedélzeti alkalmazásra tervezett lézerfegyvert, a LaWS-t¹⁴ amelyet a USS Ponce fedélzetén teszteltek és elsőként a USS Dewey-re telepítettek [20]. (15. kép)



15. kép A hajófedélzeti lézer fegyver [20]

A fegyvert bemutató videón egy pilóta nélküli repülőgépet vesz célba és semmisít meg a LaWS. Egyik fő jellemzőjeként említik, hogy a hatékonyságán, pontosságán kívül rendkívül olcsó, összehasonlíthatatlanul alacsonyabb költséget jelent, mint egy rakéta, vagy akár a sorozatlövő fegyverek lőszerfelhasználása.

A német Rheinmetall cég sikeres tesztekhez hajtott végre még 2011-ben egy svájci lőtérén a saját fejlesztésű 1 és 10 kW-os lézerfegyverével, majd egy évre rá már elérték az 50 kW-ot. A rendszert

¹² <http://www.youtube.com/watch?v=KG63Bsb5Hqs>

¹³ <http://www.youtube.com/watch?v=UUOKILGU8GM>

¹⁴ LaWS – Laser Weapon System – Lézer Fegyver Rendszer

a Rheinmetall a saját fejlesztésű BST (Beam Superimposing Technology – Sugár-szuperpozicionáló Technológia) segítségével fogja egybe egy 20 és egy 30 kW-os nyalábbal [21]. (16. kép)



16. kép A német Rheinmetall lézerágyúja [21]

Elmondható tehát, hogy úgy a repülőgép fedélzeti, mint a földi, vízi légvédelmi alkalmazások területén kész megoldások léteznek, vagyis csak idő kérdése, hogy a hadseregek mikor állítanak rendszerbe olyan mennyiségben ezekből az eszközökből, hogy azok lényegesen képesek legyenek befolyásolni a harc megvívásának módját.

Véleményem szerint az igazi áttörést azonban nem a repülőeszközök – repülőgépek, pilóta nélküli repülőgépek, rakéták, léghajók stb. – elleni harc hozhatná meg, hanem azok a kísérletek, amelyeket a tüzérségi eszközökből kilőtt lövedékek megsemmisítésére irányulnak. A THEL rendszert sorozatvető rakétákra tesztelték, azonban arról nem szóltak a beszámolók, hogy mekkora tűzgyorsaságot sikerült elérni közben. A lézerek energiaforrásainak idő kell, amíg a megfelelő szintre töltenek, így minden eszköznek van egy gyakorlati tűzgyorsasága. A Rheinmetall kísérletei elsősorban tüzérségi gránátok és lövedékek elfogására és megsemmisítésére irányultak.

Hasonló a Lockheed Martin ADAM – Area Defense Anti-Munitions system – Lövedék Elleni Területvédő Rendszere. Egy nyerges vontató konténerében helyezkedik el a 10 kW teljesítményű lézerforrás. Mintegy 5 km távolságról céloz, és mintegy 2 km-re semmisíti meg a célokat, harcászati rakétákat, lövedékeket [22]. (17. kép)



17. kép Az ADAMS rendszer [22]

ÖSSZEFOGLALÁS

A lézerfizika hallatlan fejlődést járt be az elmúlt fél évszázad alatt. A kételyek ellenére napjainkra megvalósulni látszik az évezredek óta keresett „halálsugár”, ami képes a repülőgépek, UAV-k, rakéták, ballonok repülés közbeni roncsolására, illetve a repülőgép fedélzetéről földi

célpontok támadására. Ugyanakkor, ha sikerül a tűzérési lövedékek, gránátok megfelelő hatékonysággal való pusztítása, az valóban átütő fordulatot hozhat a harc megvívásában, hiszen egy olyan régi, nagy hagyományokkal bíró fegyvernemet hatástalanítana, mint a tűzéréség.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FELIX R: PATURI A technika krónikája. Officina Nova Könyv és Lapkiadó Kft. 1991. ISBN 963 7836 44 6. p.490.
- [2] HOLICS LÁSZLÓ szerk. Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986. ISBN 963 10 6774 2 p.1258.
- [3] DOD Dictionary of Military Terms (online) url:http://www.dtic.mil/doctrine/dod_dictionary/?zoom_query=Directed+energy+weapon&zoom_sort=0&zoom_per_page=10&zoom_and=1 (2013. július 5.)
- [4] AAP-6 NATO Szakkifejezések és meghatározások szógyűjteménye (angol és magyar) (2012 version 2) Magyar Honvédség Vezetési és Doktrínális Központ kiadvány, Budapest, 2012. 90. p.
- [5] VÁNYA LÁSZLÓ Irányított energiájú fegyverek. Kézirat, TÁMOP 4.2.2./B-10/1-2010-0001 „Kockázatok és válaszok a tehetséggondozásban (KOVÁSZ)” projektben készült egyetemi jegyzet, NKE, Budapest, 2013. pp 6-7.
- [6] SZ. N. A lézerek működésével kapcsolatos jelenségek, a lézerek fajtái, és működésük. (online) url: http://madchemist.uw.hu/laser_elmelet.htm (2014.03.04.)
- [7] Fegyver kép. Smith & Wesson Forum (online) url: <http://smith-wessonforum.com/smith-wesson-m-p-15-22/317962-see-thru-mount-red-dot.html> (2014.03.04.)
- [8] NSTDA Supports Thai Army in Successfully Developing an “Eye-Safe Laser Rangefinder” Online url: <http://www.nstda.or.th/eng/index.php/news/research-news/item/141-nstda-supports-thai-army-in-successfully-developing-an-%E2%80%9Ceye-safe-laser-rangefinder%E2%80%9D> (2014.03.04.)
- [9] Sz. N. A Litening célmegjelölő konténer. (online) url: <http://jets.hu/news?id=154> (2014.03.04.)
- [10] JEFF HECHT Diode-pumped solid-state lasers: Laser dazzlers are deployed (online) url: <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-48/issue-03/world-news/laser-dazzlers-are-deployed.html> (2014.03.04.)
- [11] DAVID CRANE New Laser Dazzler Technologies for Infantry Warfare, Counterinsurgency Ops, and LE Apps. (online) url: <http://www.defensereview.com/new-laser-technologies-for-infantry-warfare-counterinsurgency-ops-and-le-apps/> (2014.03.04.)
- [12] WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA 2003 Baghdad DHL attempted shootdown incident. (online) url: http://en.wikipedia.org/wiki/2003_Baghdad_DHL_attempted_shootdown_incident (2014.03.04.)
- [13] WILLIAM HARRIS How the Guardian Anti-missile System Works. (online) url: <http://science.howstuffworks.com/guardian.htm> (2014.03.04.)
- [14] INDEX http://index.hu/tech/Lézerfegyver_lesz_az_izraeli_utasszallitokon/ (online) url: http://index.hu/tech/2014/03/04/lezerfegyver_lesz_az_izraeli_utasszallitokon/ (2014.03.08.)
- [15] BOEING 737-800 kép (online) url: http://defense-update.com/20140227_skyshield-dircm-test.html (2014.03.08.)
- [16] ROBERT F. DORR Air Force One Has New Defensive Systems, Antennas. (online) url: <http://www.defensemedianetwork.com/stories/air-force-one-has-new-defensive-systems-antennas/> (2014. 03.08.)
- [17] WILLIAM J. BROAD Teller háborúja. Osiris Kiadó, Budapest, 1996. ISBN 963 397 128 6 pp. 142-143.
- [18] SZ. N. Airborne Laser System (ABL) YAL 1A, United States of America. (online) url: <http://www.airforce-technology.com/projects/abl/> (2014.03.08.)
- [19] CARLO KOPP High Energy Laser Directed Energy Weapons (online) url: <http://www.usairpower.net/APA-DEW-HEL-Analysis.html> (2014.03.08.)
- [20] FOTO (online) url: http://usnews.nbcnews.com/_news/2013/04/08/17658147-navy-unveils-powerful-ship-mounted-laser-weapon?lite (2014.03.08.)
- [21] SZ.N. Flying colours: Rheinmetall successfully tests 50kW high-energy laser weapon (online) url: http://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/public_relations/news/archive_2012/aktuellesdetailansicht_4_2368.php (2014.03.08.)
- [22] SZ.N. Lockheed Martin’s new ADAM laser ready to unleash HEL on the battlefield (literally) (online) url: <http://venturebeat.com/2013/05/08/lockheed-martins-new-adam-laser-ready-to-unleash-hel-on-the-battlefield-literally/> (2014.03.08.)

Pokorádi László¹

ÜZEMELTETÉSI FOLYAMAT GRÁFMODELLEZÉSE²

Technikai eszközök üzemeltetési rendszerei, folyamatai matematikai szempontból irányított gráfokkal írhatóak le. A műszaki tudományokban a hálózatokat, gráfokat elsősorban integrált, összetett rendszerek, folyamatok modellezésére használják, amelyekben az elemek közötti kapcsolatok feltárása, az állapotok és állapotváltozások vizsgálata a cél. A tanulmány azt szemlélteti, hogy hogyan értelmezhető egy üzemeltetési folyamat reguláris és valós gráffja, mint az üzemeltetés szubjektív, illetve objektív összetevője, valamint azt, hogy melyek az üzemeltetési hálózat éleinek, szögpontjainak gyakorlati jelentése.

GRAPH-MODELING OF OPERATION PROCESSES

From mathematical point of view the operational processes of technical systems can be described as directed graphs. In the technical sciences the graphs are used to model integrated and complicated systems when the aim is investigation of interconnections between system elements, states and changes of states of processes. The paper shows interpretations of regular and concrete graph of operation as its subjective and objective component and practical meanings of nodes and edges of operational networks.

1. BEVEZETÉS

Tágabb értelemben véve a technikai eszközök üzemeltetése az eszközökkel gyártásuk és kiseljeztetésük között történtek összessége, ami magában foglalja az eszközök használatát, karbantartását, javítását. Az üzemeltetési folyamat üzemvitelből, üzemállapotokból, és a közöttük fennálló kapcsolatokból épül fel [8]. Az üzemvitelt a technikai eszköz üzemeltetési állapotainak időbeni sorrendisége alkotja, amely egy adott üzemeltetési rendszerben előírásokkal előre szabályozott. Ezért ezt az üzemeltetési folyamat szubjektív összetevőjének is szokás nevezni. A technikai rendszer üzemeltetése során sokféle, bonyolult hatásokat kiváltó és gyakran egyszerű módszerekkel nem vizsgálható, sztochasztikus jellegű üzemeltetési körülmények hatnak. Ennek következtében a technikai állapota folyamatosan és halmozottan változik. Ezt szokás az üzemeltetési folyamat objektív összetevőjének nevezni [8].

Egy üzemeltetési rendszer vizsgálatának egyik első fontos állomása az üzemeltetési állapotok közti kapcsolatok tényének feltárása és gráffal történő matematikai leírása. A diszkrét állapotterű folyamatok ábrázolása, leírása, a lehetséges állapotok, és az állapot-váltások alkotta gráfok segítségével történhet. Ilyen példák az [5], [6] és [8] irodalomban találhatóak.

A gráf olyan alakzat, amely pontokból és bizonyos pontpárokat összekötő (nem feltétlenül egyenes) vonaldarabokból áll. Matematikai megfogalmazásban a $G(P;E;f)$ gráfon olyan alakzatot értünk, amely a P pontokból és bizonyos pontokat összekötő E vonaldarabokból áll. A P

¹ egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@bkg.uni-obuda.hu

² Lektorálta: Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens, PhD, katonai műszaki tudományok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tan-szék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

halmaz elemeit pontoknak (esetleg gráf szögpontjainak vagy csúcsainak), az E halmaz elemeit pedig a gráf éleinek nevezzük [3]. A fenti jelölésben szereplő f függvény az E halmazt képezi le a $P \times P$ -re, azaz bármely e élhez hozzárendel egy pontpárt a P halmaz elemei közül. Ezért az f függvényt szokás illeszkedési leképezésnek is nevezni. Irányított gráfról akkor beszélünk, ha az élek végpontjainak sorrendjére is tekintettel vagyunk [4], [7].

A technikai eszközök üzemeltetésének elméleti alapjait Rohács és Simon fektették le [8] könyvükben. Pokorádi a technikai rendelkezésre állás becslésére alkalmazta a Markov-folyamatok elméletét [6].

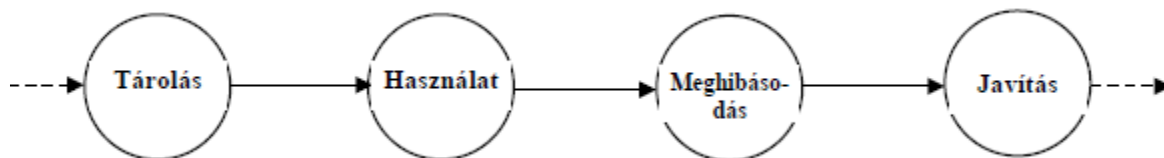
A gráfelméletnek és mérnöki alkalmazásának kiterjedt matematikai és műszaki szakirodalma található. A technikai folyamatok leírásához szükséges gráfelméleti alapismeretek olvashatóak a két Korn [3], illetve Pokorádi [5] könyvében. Alkalmazásukra láthatunk példákat a [4] és [7] publikációkban. Csiszér kutatásainak célja a hálózat kutatás minőségügyi felhasználási lehetőségeinek feltárása, főleg a folyamatfejlesztési szempontokat helyezve az elemzések középpontjába [1], [2].

A tanulmány célja – a fenti irodalmakra támaszkodva – bemutatni az üzemeltetési folyamatok és rendszerek hálózati leírásának módjait, valamint szemléltetni azt, hogy hogyan oldható meg a rendelkezésre állás és karbantartási költség becslése megváltozott üzemeltetési körülmény esetén.

A cikk az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet bemutatja a karbantartási folyamatok leírasi módjait. A 3. fejezet egy esettanulmányt mutat be. Végezetül a Szerző összegzi munkáját és megfogalmazza a jövőbeni kutatási terveit.

2. ÜZEMELTETÉSI FOLYAMAT HÁLÓZATI LEÍRÁSA

Egy technikai eszköz üzemeltetése az eszközzel a gyártása és a kiselejtezése között történekk összessége. Ide tartozik az eszköz rendeltetésének megfelelő használata, karbantartása, javítása és ezen állapotok bármelyikére történő várakozása. Ezeket a létezési formákat nevezzük üzemeltetési állapotoknak. Más megfogalmazásban az üzemeltetési állapotok – megfelelő definiálásuk esetén – jól körülhatárolt, egymástól jól elválasztott állapotokat jelentenek, melyek más, például jogi szempontokat is jelenthetnek. Az üzemeltetési folyamat üzemeltetési állapotok időben és gyakoriságban véletlen egymásutániságának tekinthető. Ezen egymásutániságot úgynevezett üzemeltetési láncsal tudjuk szemléltetni.



1. ábra Üzemeltetési gráf (példa)

Az üzemeltetési lánc egy olyan speciális irányított gráf, ahol az üzemeltetési állapotokat szemléltető szögpontok mindegyikébe egy és csak egy (állapotváltozási) él fut be, valamint egy, és csak egy él indul ki belőle, mint ahogyan ezt az 1. ábra is mutatja. Hátránya, hogy egy teljes esz-

közpark rendszerszemléletű vizsgálata során az összes berendezés, rendszer üzemeltetési lánccának ábrázolása nagyon körülményes [8].

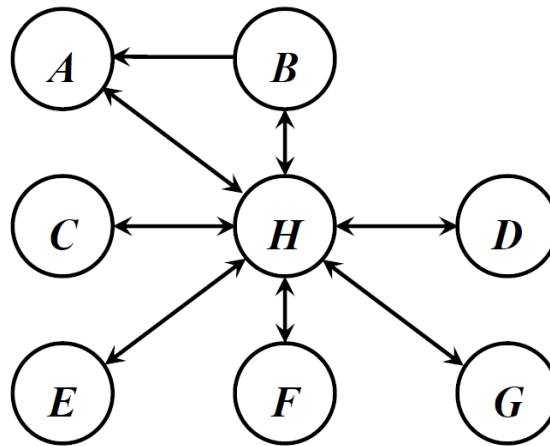
Rendszerszemléletű elemzés esetén az üzemeltetési rendszer, illetve folyamat az üzemeltetési állapotok és állapotváltozások alkotta, hálózati struktúrájú rendszernek tekinthető. Ezért bevezetjük az üzemeltetési hálózat fogalmát. Az üzemeltetési hálózat szögpontjai az üzemeltetési állapotokat, élei pedig a lehetséges állapotváltozásokat szemléltetik (2. ábra).

A műszaki tudományokban a hálózatokat, gráfokat elsősorban integrált, összetett rendszerek, folyamatok modellezésére alkalmazzák, amikor az elemek közötti kapcsolatok feltárása, az állapotok és állapotváltozások vizsgálata a cél. A hálózatok csoportosításánál a hálózati elemekből, azaz az élekből és a csúcsokból, valamint a modellezett rendszer, folyamat fizikai jellemzőiből indulunk ki. Az élek és a csúcsok típusai határozzák meg az adott hálózat, valamint az azt szemléltető gráf típusát, a fizikai jellemzők pedig a rendszer, folyamat műszaki tulajdonságait jellemzik [5].

A hálózatokat egyrészt az élek jellemzői alapján csoportosíthatjuk. E szerint létezik áramlási, attribútum és preferencia típusú élek által összetartott hálózat, melyeket áramlási, attribútum vagy preferencia hálózatoknak nevezünk [1]. Az áramlási hálózatok jellemzői, hogy a csúcsok között anyag-, energia-, vagy információáramlás történik, azaz valós fizikai folyamatok játszódnak le [2]. Az üzemeltetési folyamat áramlási hálózatként kezelhető, ahol az „áramló anyag” az üzemeltetett technikai rendszer, ami a különböző üzemeltetési állapotok között – időben és gyakoriságban véletlenszerűen – „mozog”.

A másik felosztási mód a csúcsok típusa szerinti csoportosítás [1]. Ebben az esetben beszélhetünk esemény-, erőforrás- és fogalom-típusú csúcsok alkotta hálózatokról. Az eseményhálózatokban, például folyamatok, tevékenységek zajlanak, jelenségek játszódnak le a csúcsokban. Az erőforrás-hálózatokban például gépek, berendezések és munkavégzők, felhasználók alkotják a csúcsokat. A fogalomhálózatokban például az erőforrások által birtokolt kompetenciák és az általuk betöltött szerepek jelennek meg. Rendszertani szempontból elemi folyamatlépésnek tekintjük azt a feladatot, amelyet egy erőforrás, folyamatos munkavégzéssel, egy technikai eszközzel „elvégez” úgy, hogy annak legalább egy output-ja van.

Az üzemeltetés esemény hálózatként modellezhető, melynek során az elemi események az üzemeltetési állapotok, például a különböző típusú és mértékű meghibásodások, illetve javítási, karbantartási munkák.



2. ábra A vizsgált üzemeltetési folyamat reguláris üzemeltetése hálózata
H – rendeltetésszerű használat; *A-G* – különböző típusú meghibásodások javítása

Két fajta esemény hálózatot különböztetünk meg: reguláris és valós [1]. Reguláris hálózat szabályozásban meghatározott elemi folyamatlépéseket tartalmaz. Ezzel szemben egy valós folyamat a ténylegesen bekövetkező, végrehajtott elemi folyamatokból áll. A két folyamathálózat összehasonlítása megmutatja, hogy a valós működés mekkora mértékben és milyen módon tér el a szabályozott módtól. (Erre látunk példát a 2. és 3. ábrák összehasonlításával.)

Üzemeltetési hálózat, gráf esetén az élekhez rendelhető legáltalánosabb fizikai jellemzők az állapotváltási valószínűségek (például meghibásodási ráták, vagy javítási intenzitások). A szögpontokhoz rendelhető fizikai jellemzők lehetnek az állapotokban tartózkodás anyagi vonzata (javítási költség vagy termelt nyereség), munka- és/vagy anyagigényei.

Könnyen belátható, hogy minél több elemű a modellvizsgálathoz alkalmazott hálózat, annál pontosabb, árnyaltabb képet tudunk kapni a vizsgálandó üzemeltetési folyamatról, rendszerről, ugyanakkor annál erőforrás-igényesebb az lesz elemzés. Ha viszont csökkentjük a hálózati elemek számát, könnyebben megoldható modellel lehet dolgozni, de az így kapott eredmények részletessége, és így felhasználhatósága jelentősen csökkenhet. Ezért fontos kérdés a vizsgálati háló mérete (a gráf szögpontjainak száma) optimumának meghatározása.

3. ESETTANULMÁNY

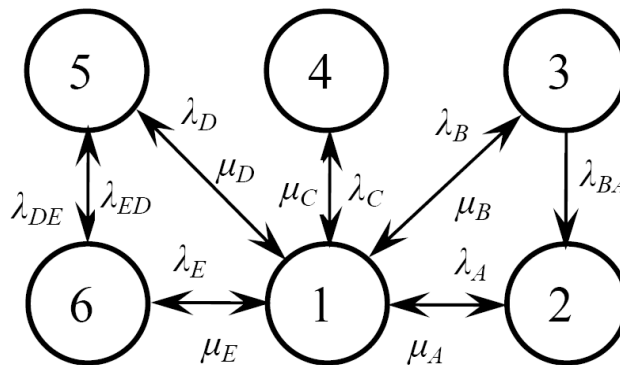
Jelen fejezetben az előzőekben elméleti oldalról bemutatottak alkalmazási lehetőségét szemléltetjük egy üzemeltetési mintapéldán keresztül. A mintapélda jól mutatja be, hogyan értelmezhető egy üzemeltetési folyamat reguláris és valós gráfja, mint az üzemeltetés szubjektív, illetve objektív összetevője, valamint azt, hogy melyek az üzemeltetési hálózat éleinek, szögpontjainak gyakorlati jelentése.

Egy technikai rendszer tervezésekor – a korábbi hasonló szerkezetű és feladatú eszközök üzemeltetési tapasztalatai alapján – hét különböző jelentős meghibásodás várhatóságát prognosztizálták a tervezők. Az eszköz működési sajátosságaiból következően azzal is számoltak, hogy *B* típusú hiba javítása közben gyakran előfordulhat, hogy az *A* típusú hiba javítása is célszerűvé válhat, így ekkor egy közös javítás lehetőségét is meghatározták. Ezt szemlélteti a 2. ábrán az

A és **B** szögpontok közti, **B**-ből **A**-ba irányított él. A fentiek alapján elkészítették az adott berendezés üzemeltetésének reguláris hálózatát (2. ábra), amit alkalmazva prognosztizálták a várható karbantartási, javítási költség-, és munkaigényt.

Az eszköz rendszerbeállítása és bejáratási szakasza után, egy adott, az előző berendezések alkalmazásától eltérő, üzemeltetési körülmények között csak az **A**; **B**; **D** és **E** típusú meghibásodások okozták a rendszer leállásainak 94 %-át. Sőt, az **A** és **B** típusú meghibásodásokhoz hasonló (de „oda-vissza”) jelenségeket tapasztaltak a **D** és az **E** típusú meghibásodások javítása során. Ez szükségessé tette a karbantartási, javítási költség-, és munkaigények újrabecslését. A modell egyszerűsítése érdekében a **C**; **F** és **G** nem szignifikáns hatású meghibásodások javítását csak a **C** típusú meghibásodás javításaként volt célszerű kezelni. Ekkor a tervezettől eltérő üzemeltetési folyamathoz el kellett készíteni az üzemeltetés valós hálózatát (3. ábra). A meghibásodási adatok statisztikai elemzése kimutatta, hogy a meghibásodások bekövetkezési gyakoriságai jó közelítéssel exponenciális jellegű eloszlásokkal bírnak és a technikai eszközpark működési idejétől függetlenek tekinthetők. A meghibásodások és a javításaik főbb statisztikai adatait az 1. táblázat tartalmazza.

Úgynevezett beállt – a technikai eszközpark működési idejétől független – üzemeltetési, karbantartási folyamatokat stacioner diszkrét állapotterű, folytonos idejű Markov folyamattal tudjuk matematikailag modellezni [5], [6]. Beállt üzemeltetési folyamaton olyan folyamatot értünk, ahol a különféle állapotváltási – főleg a meghibásodási – valószínűségek időben nem (vagy csak elhanyagolható mértékben) változnak [8]. Ilyen üzemeltetési folyamatot tapasztalhatunk a bejáratási és a kiöregedési szakaszok között, ha nem lép fel jelentős változás az üzemeltetési körülményekben.



3. ábra A vizsgált üzemeltetési folyamat „valós” gráfmodellje
1 – rendeltetésszerű használat; **2** – **A** típusú meghibásodás javítása;
3 – **B** típusú meghibásodás javítása; **4** – **C** típusú meghibásodás(ok) javítása;
5 – **D** típusú meghibásodás javítása; **6** – **E** típusú meghibásodás javítása

Meghibásodás	A típusú	B típusú	C típusú	D típusú	E típusú
MTBF τ [óra]	1316,3	892,8	1339,4	1410,1	1396,4
Meghibásodási ráta λ [óra ⁻¹]	$7,60 \cdot 10^{-4}$	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$7,47 \cdot 10^{-4}$	$7,91 \cdot 10^{-4}$	$7,61 \cdot 10^{-4}$
Javítási átlagidő τ [óra]	7,08	9,63	2,14	8,21	7,62
Javítási ráta μ [óra ⁻¹]	0,141	0,104	0,467	0,122	0,131
Átlagos javítási költség [€]	150,2	115,4	98,7	210,8	352,4
Átlagos munkaigény [munkaóra]	14,16	14,45	5,35	24,63	17,5
λ_{ij} [óra ⁻¹]	–	0,427	–	0,613	0,524

1. táblázat Statisztikai elemzés főbb adatai

Az adatok elemzése alapján kijelenthető, hogy a folyamat Markov modellje felállítható, és azzal elemezhető. A hálózati modell felhasználásával a Kolmogorov-féle differenciál-egyenletrendszer – mely az állapotokban való tartózkodás valószínűségeinek időbeni változását írja le – az alábbi módon adható meg:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1}{d\tau} &= m_{11}P_1 + m_{12}P_2 + m_{13}P_3 + m_{14}P_4 + m_{15}P_5 + m_{16}P_6 \\
 \frac{dP_2}{d\tau} &= m_{21}P_1 + m_{22}P_2 + m_{23}P_3 \\
 \frac{dP_3}{d\tau} &= m_{31}P_1 + m_{33}P_3 \\
 \frac{dP_4}{d\tau} &= m_{41}P_1 + m_{44}P_4 \\
 \frac{dP_5}{d\tau} &= m_{51}P_1 + m_{55}P_5 + m_{56}P_6 \\
 \frac{dP_6}{d\tau} &= m_{61}P_1 + m_{65}P_5 + m_{66}P_6
 \end{aligned} \tag{1}$$

ahol m_{ij} – az állapotváltási intenzitások, melynek értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

Mivel az általunk vizsgált folyamatot beálltnak, azaz időben változatlanoknak tekintjük, így az állapotokban való tartózkodási valószínűségek időszerinti deriváltjaira teljesül, hogy:

$$\frac{dP_1}{d\tau} = \frac{dP_2}{d\tau} = \frac{dP_3}{d\tau} = \frac{dP_4}{d\tau} = \frac{dP_5}{d\tau} = \frac{dP_6}{d\tau} = 0 \tag{2}$$

Az egyenletrendszer megoldásakor problémaként jelentkezhet, hogy a triviális megoldást kapjuk meg. Ezért a megoldáshoz a

$$\sum_{i=1}^6 P_i(\tau) = 1 \tag{3}$$

további feltételt is be kell vezetnünk, amely azt fejezi ki, hogy az üzemeltetés tárgya csak a fenti hat állapot (melyek esetünkben a teljes eseményteret alkotják) valamelyikében tartózkodhat.

$m_{11} = -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E)$	$m_{12} = \mu_A$
$m_{13} = \mu_B$	$m_{14} = \mu_C$
$m_{15} = \mu_D$	$m_{16} = \mu_E$
$m_{21} = \lambda_A$	$m_{22} = -\mu_A$
$m_{23} = \lambda_{BA}$	$m_{31} = \lambda_B$
$m_{33} = -(\mu_B + \lambda_{BA})$	$m_{41} = \lambda_C$
$m_{44} = -\mu_C$	$m_{51} = \lambda_D$
$m_{55} = -(\mu_D + \lambda_{DE})$	$m_{56} = \lambda_{ED}$
$m_{61} = \lambda_E$	$m_{65} = \lambda_{DE}$
$m_{66} = -(\mu_E + \lambda_{ED})$	

2. táblázat Állapotváltási sűrűségek

A (1); (2) és (3) egyenletek alkotta egyenletrendszer 1. táblázat értékeinek felhasználásával történő megoldása az alábbi állapotokban való tartózkodási valószínűségeket jelenti:

$$P_1 = 0,973994 ; \quad P_2 = 0,011453 ;$$

$$P_3 = 0,002054 ; \quad P_4 = 0,001556 ;$$

$$P_5 = 0,005101 ; \quad P_6 = 0,005844 .$$

A fenti eredmény alapján elsősorban ki tudjuk jelenteni, hogy a berendezés esetén 97,4 %-os készenlélet tudunk biztosítani a jelenlegi karbantartási rendszerrel. Mivel ismert a javítási költségek, illetve a javítási munkaigények, így prognosztizálhatjuk, egy adott T vizsgálati idő alatti K_Σ javítási költséget, illetve M_Σ munkaigényt. Ez az alábbi összefüggések segítségével oldható meg:

$$K_\Sigma = T \sum_{i=2}^4 \frac{k_i P_i}{\tau_i} \quad (4)$$

illetve

$$M_\Sigma = T \sum_{i=2}^4 \frac{m_i P_i}{\tau_i} \quad (5)$$

ahol: k_i – i -edik javítás költsége; m_i – i -edik javítás munkaigénye.

Példánk esetén 10 000 órával számolva a javítási költség: 51996,0 Euro, illetve a munkaigény: 4252,43 munkaóra.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány az üzemeltetési folyamatok gráfelméleti, hálózatelméleti modellezéséről és a modellalkalmazási lehetőségeit mutatta be, elméleti és gyakorlati szempontból. A Szerző jövőbeli kutatásainak célja a komplex rendszerek és hálózatok kutatási eredményeinek adaptálása a technikai rendszerek üzemeltetési folyamatainak és üzemeltetési rendszereinek elemzésére.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CSISZÉR TAMÁS, A hálózat kutatás alkalmazása a folyamat alapú minőségfejlesztésben, Minőség és megbízhatóság, 2011/5, pp. 274-282.
- [2] CSISZÉR TAMÁS, A kockázati események közötti összefüggések vizsgálata hálózatelemzése, Magyar Minőség 2011/11, pp. 59-61.
- [3] KORN, G.A. - KORN, T.M, Mathematical Handbook for Scientists and Engineers, Courier Dover Publications, 1975.
- [4] POKORÁDI LÁSZLÓ, Rendszerek és folyamatok gráfelméleti vizsgálata, Tudományos Kiképzési Közlemények, MH. SzRTF, Szolnok 1993/2-3, p. 33-44
- [5] POKORÁDI LÁSZLÓ, Rendszerek és folyamatok modellezése, Debrecen: Campus Kiadó, 2008
- [6] POKORÁDI LÁSZLÓ, Availability Assessment Based on Stochastic Maintenance Process Modeling, Debreceni Műszaki Közlemények, 2013/1 p. 37-46.
- [7] POKORÁDI LÁSZLÓ, Rendszerek gráfmodellezése. GÉP LIX. 8) pp. 59-62. (2008)
- [8] ROHÁCS JÓZSEF - SIMON ISTVÁN Repülőgépek üzemeltetési zsebkönyve. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1989.

Fenyvesi Csaba¹ – Pokorádi László²

ÜZEMELTETÉSI FOLYAMAT KOCKÁZATÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ELEMZÉSE³

*Technikai rendszerek üzemeltetés megbízhatóságára, valamint az üzemeltetése során fellépő kockázatokra az adott be-
rendezés vagy rendszer gyártásától egészen a rendszerből való kivonásáig, esetleg újrafelhasználásig minden részfolya-
mat befolyással bír. A jövőbeni kockázatok csökkentésének egyik fő eleme a már bekövetkezett kockázati események
(katasztrófák, balesetek, üzemzavarok, meghibásodások) kivizsgálása. Ezen elemzések során fontos kérdés, a körülmé-
nyek, kiváltó okok pontos, körültekintő meghatározása és az azokból levonható következmények leírása. Jelen tanulmány
az üzemeltetési folyamat kockázatára befolyással bíró tényezőket elemzi egy eset tanulmány példáján keresztül.*

INVESTIGATION OF DETERMINANTS OF OPERATIONAL RISK

*From manufacturing to condemnation of technical systems, reliability and risk of their maintenance are influenced
by all operational sub-processes. For reducing future hazards the investigation of risk situations (catastrophes,
accidents, breakdowns, failures) is a very important task. It is an important issue the accurate determination of
efficient causes and deduce conclusions from them. This papers investigates causes of risk of maintenance process
by analysis of a case study.*

1. BEVEZETÉS

A szervezetek egyik alapvető célja a működőképességük legmagasabb szinten tartása. Ennek egyik fontos eleme a humán erőforrás, valamint az infrastruktúra működőképességének megőrzése. Nagyon fontos kérdés a működőképességet veszélyeztető kockázatok megelőzése, illetve csökkentése, azaz a kockázatok kezelése. A kockázatkezelésre, illetve kockázat értékelésre többféle lehetséges módszer létezik. Mindegyik módszernek az a közös eleme, hogy a felmerülő kockázatokat, illetve annak következményeit, illetve kiváltó okait valamilyen módon megpróbálja rangsorolni.

A jövőbeni kockázatok csökkentésének egyik fő eleme a már bekövetkezett kockázati események (katasztrófák, balesetek, üzemzavarok, meghibásodások) kivizsgálása. Ezen elemzések során fontos kérdés, a körülmények, kiváltó okok pontos, körültekintő leírása és az azokból levonható következmények leírása. Általánosan jelentős problémát okoz, hogy az adott vizsgált eseményhez kötődő személyek – az esetleges személyes felelősség okán – ellenérdekeltek.

A kockázatkezelésre mind objektív mind szubjektív módszerek állnak rendelkezésünkre. Az első

¹ okleveles gépészmérnök, energiagazdálkodási-, reaktorteknikai szakmérnök, Paksi Atomerőmű Zrt., fenyvesic@npp.hu

² egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar pokoradi.laszlo@bgtk.uni-obuda.hu

³ Lektorálta: Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens, PhD, katonai műszaki tudományok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tan-
szék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

esetben szükség van megbízható adatforrásra, időre, technikai háttérre, amelynek feldolgozását a matematikai eszköztár biztosítja. Szubjektív döntés esetében a döntéshozó az intuícióna, tapasztalatára, ismeretére, egyéni preferenciákra támaszkodik. Ezért szükséges olyan módszertani eljárások kidolgozása, amelyek alkalmazásával a döntéshozó képes a kockázatok elkerülésére, csökkentésére.

Az üzemeltetés megbízhatóságára, valamint az üzemeltetése során fellépő kockázatokra az adott termék, berendezés vagy rendszer gyártásától egészen a megsemmisítésig, esetleg újrafelhasználásig minden részfolyamat befolyással bír [7]. Nem lehet különválasztani az egyes elemek vagy folyamatok részjellemzőit, hanem komplex módon kell vizsgálni, és értékelni a megbízhatóságot. Az üzemeltetési folyamat során fellépő kockázatokat, ha különválasztani nem is, de csoportosítani mindenképpen szükséges. Fontos kérdés a fő-okok, okok és gyökér-okok egymásra hatásának, együtthatásának elemzése is. Ne feledjük el, hogy – mint azt a tanulmány későbbi részében is tapasztalhatjuk – nem elegendő egyetlen kiváltó ok megjelenése egy kockázati esemény kialakulásához. Általános érvényű megállapítás, hogy egy kockázati esemény kialakulását minimum három-öt kiváltó gyökér-ok egyidejű megjelenése szükséges.

Egy nem kívánt eseményt kiváltó okok felderítésére több módszer áll rendelkezésünkre. Ilyen például a hibafa elemzés (FTA – Fault Tree Analysis), Ishikawa elemzés, hibamód és hatás elemzés (FMEA – Failure Mode and Effect Analysis) [4].

A hibafa-elemzés során egy feltételezett rendszerhibából, az úgynevezett főeseményből (Top Event) indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat az alkotóelem és részrendszer meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott, nem kívánt esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek. Az elemző munkát fastruktúrájú gráf megjelenítés segíti, amit különböző, például megbízhatósági számításokkal is ki lehet egészíteni [5].

Ishikawa, vagy más néven halszájka elemzés során is egy fastruktúrájú gráfot kapunk, mely szintén az elemi kiváltó okokat mutatja meg. De, ekkor „hal” gerincéből leágazó fővonalak végein lévő blokkokba írjuk be a fő-okokat, majd ezekből a vonalakból szállakyszerűen leágazó vonalak mellé az egyes gyökér-okokat [4].

Az FMEA egy olyan elemzéses módszertan melyet azért alkalmaznak, hogy a lehetséges problémákat azonosítsák. Tulajdonképpen a nem kívánt események, hibák, és hatásainak, valamint azok okainak a rangsorolt a bekövetkezés gyakorisága, a következmény súlyossága és a detektálhatóság vizsgálatával [3].

Vizsgálatunk célja egy korábbi kockázati esemény részletes elemzésén keresztül rávilágítani az üzemeltetési folyamatok kockázatát befolyásoló tényezőkre.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a vizsgált esetet és annak szakmai környezetét is írja le. A 3. fejezet az esemény részletes elemzését mutatja be. A cikk 4. részében következtetéseket és ajánlásokat fogalmazunk meg. Végezetül a munka összefoglalása olvasható.

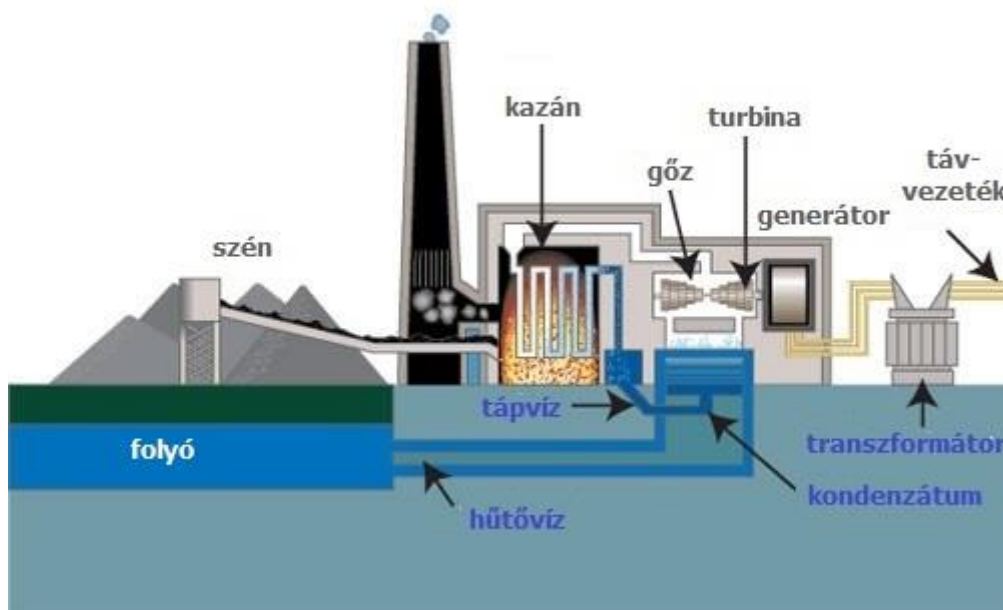
3. AZ ESEMÉNY LEÍRÁSA

A tanulmányban bemutatásra kerülő esettanulmányban egy erőművi hűtővíz szivattyú meghibásodási folyamatán keresztül a lehetséges kockázatok és következmények üzemeltetésre vonatkozó hatásait kívánjuk bemutatni.

Az 1. ábrán egy gőzös, kondenzációs villamos erőmű általános felépítése látható. A villamos energiát a generátor állítja elő, amit gőzturbina hajt meg. A gőzturbina meghajtásához szükséges gőzt valamilyen gőztermelő berendezés biztosítja. A hőtermelő berendezés lehet szénkazán, gázkazán, olajkazán, atomreaktor, gázmotor kipufogó rendszere, gőzturbina gázvezető rendszere stb. összességében minden olyan berendezés, amely stabilan tudja biztosítani a gőz előállításához szükséges hőteljesítményt. A gőzturbinában munkát végző gőz a gőzturbinán áthaladva biztosítja a generátor forgatásához szükséges teljesítményt s ennek hatására belső energiataralma lecsökken. A lecsökkent energiataralmú gőz a gőzturbinát elhagyva a kondenzátorba jut, ahol a hűtés következtében cseppfolyósodik, vízzé alakul. Innen a kondenz-, és tápvíz szivattyúk juttatják vissza a gőztermelő egységbe, ahol ismét gőzzé alakul át s ezáltal a körfolyamat zárul, illetve újból elindul.

A kondenzátorban a gőz kondenzációjához hőelvonás szükséges, amit az 1. ábra alapján a folyóból kiemelt hűtővíz biztosít. A folyóból a hűtővizet a kondenzátor hűtővízszivattyú szállítja csővezetékeken keresztül. A folyóból kiemelt víz a kondenzátorban a hőelvonás következtében felmelegszik majd felmelegedve jut vissza a folyóba.

A hőtermelő berendezésben felszabaduló hőteljesítmény egy részéből hasznos villamos energia keletkezik, a másik része, a kondenzációs körfolyamat tulajdonságából eredően, energetikai célra már nem hasznosítható hőmérsékletszinten a környezetbe (jelen esetben a folyóba) távozik. [1]



1. ábra Villamos erőmű általános felépítése [6]

A hűtéshez szükséges vízmennyiséget, gazdaságossági és üzembiztonsági megfontolások miatt, jellemzően két szivattyúval célszerű biztosítani.

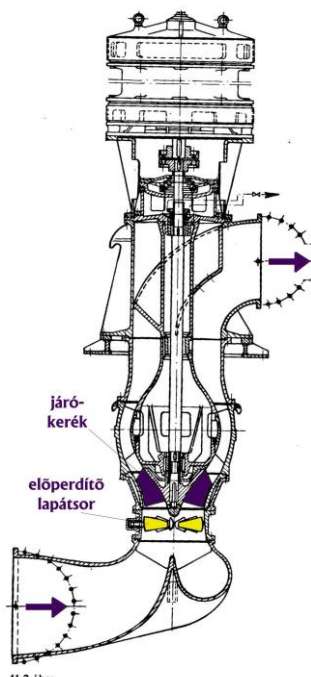
A magyar frissvízhűtésű erőművek GANZ által tervezett és gyártott MJO típusú szivattyúkat használnak erre a célra [2]. A 2. ábrán egy MJO típusú kondenzátor hűtővízszivattyú keresztmetszete látható.

Az MJO szivattyú szárazaknás, félaxiális, előperditő lapátsorral ellátott szivattyú. A szivattyú forgatását aszinkron villamos motor látja el, közvetlen hajtással. A villamos motorok gyártója szintén a GANZ volt, a motorok típusa FVBZ. Az MJO szivattyúk névleges villamos teljesítménye 2,0-3,5 MW között változik.

Az esettanulmány egy ilyen kondenzátor hűtővízszivattyú meghibásodásának körülményeit mutatja be.

A hűtővíz szivattyúk fontos elemei a villamos energiatermelési folyamatnak. A szivattyúk meghibásodása vagy üzemképtelensége az erőmű energiatermelési folyamatában a hőelvonási funkció csökkenését vagy megszűnését eredményezhetik, emiatt lényeges a szivattyúk folyamatos állapotfigyelése.

Ennek legegyszerűbb módja a szivattyúk távfelügyelete egy központi vezénylőteremből. A távfelügyelet nem pótolja a helyszíni gépész ellenőrzést, de e berendezések megbízhatósága nem is igényli a folyamatos helyszíni jelenlétet. Megfelelően kiválasztott paraméterek segítségével a távfelügyelet, kiegészítve az időszakos gépész helyszíni ellenőrzésekkel megfelelő üzemeltetési megbízhatóságot eredményez.



2. ábra MJO szivattyú keresztmetszeti rajza (forrás: [2])

Ezen szivattyúk esetében melyek lehetnek azok a paraméterek, amelyek megfelelő mennyiségű információt nyújtanak az üzemviteli személyzetnek?

Jellemzően ezek a paraméterek a dinamikusan változó értékek, például különböző nyomások, hőmérsékletek, rezgésértékek, hűtő- és kenőfolyadék szintek.

Az MJO szivattyúk esetében a távfelügyelettel mért paraméterek:

1. villamos motornál
 - 1.1.1. felső olajkenésű csapágy fémhőmérséklet
 - 1.1.2. felső olajkenésű csapágy olajhőmérséklet
 - 1.1.3. felső olajkenésű csapágy olajsint
 - 1.1.4. alsó zsírkenésű csapágy fémhőmérséklet
 - 1.1.5. áramfelvétel
2. szivattyúnál
 - 2.1.1. szívóoldali nyomás
 - 2.1.2. nyomóoldali nyomás
 - 2.1.3. olajkenésű támcsapágy fémhőmérséklet
 - 2.1.4. előperdítő lapátsor állásszög

A szivattyúk távfelügyelete a Hűtővízszivattyúk vezérlőtermében történik, ahol a vezénylőtermi operátor és terepi gépész látja el a szivattyútelep felügyeletét. Az operátor folyamatos felügyelet alatt tartja a vezénylőteremben lévő jelzéseket, míg a gépész ciklikus és eseti terepi (helyszíni) ellenőrzéseket végez. Az operátor a mért paraméterek tényleges értékét, hihetőségét, helyességét ellenőrzési adatlap alapján óránként ellenőrzi, az értékeket az ellenőrzési adatlapra rögzíti. Ezen felül előre meghatározott értékekre beállított automatikus figyelmeztető és védelmi rendszer felügyeli a berendezések és rendszerek működésének helyességét. Ha egy adott, mért paraméter az előre meghatározott határértéket eléri, akkor figyelemfelhívó fény és hangjelzés keletkezik, figyelmeztetve az operátort a rendellenességre. Ekkor az operátornak az adott berendezésre vagy rendszerre vonatkozó kezelési utasításban leírtak szerint kell eljárnia.

A vizsgált esemény során a kondenzátor hűtővízszivattyú villamos motor felső csapágya hibásodott meg.

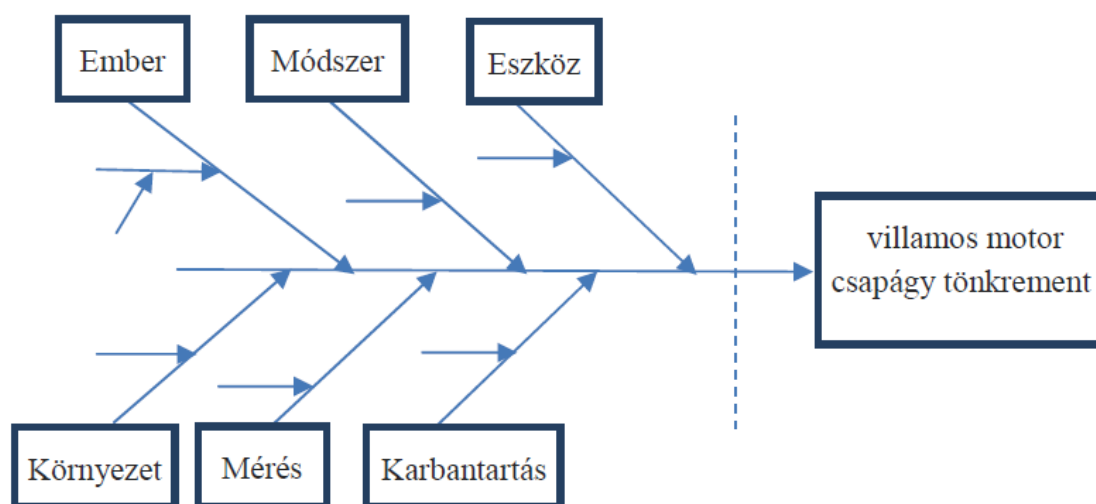
A konkrét, mért értékek alapján a villamos motor felső csapágyának fémhőmérséklete a hajnali két órás ellenőrzéskor 36 °C-t mutatott, az ezt követő három órás ellenőrzéskor ez a hőmérséklet 55 °C volt. Mivel ez az érték a 90 °C-os beavatkozási érték alatti az operátor a korábbi értékekkel összehasonlítva a 19 °C-os hőmérsékletváltozást kis jelentőségű eseménynek nyilvánította, de az előző órákban beírt értékek igazságtartalmában is elbizonytalanodott. A következő, négy órás ellenőrzéskor a hőmérséklet továbbra is 55 °C-t mutatott, ami az operátort megerősítette a hajnali egy és kétórás adatok 36 °C-os értékeinek helytelenségében. A négy órás beírás után kb. 20 perccel „a villamos motor felső csapágy olajhőmérséklet 80 °C-os” fény és hangjelzés jelezte, hogy az olajhőmérséklet megemelkedett. A jelzés nyugtázható volt, de nem volt törölhető, ami azt bizonyította, hogy a jelzés a mérőrendszer szempontjából jogosan jött és továbbra is fennállt. A csapágyfém hőmérséklet ekkor 131 °C-ot mutatott. A gépész ezután a helyszínen ellenőrizte a villamos motort és megállapította, hogy a felső csapágy olajsint jelzőjén az olajsint normális, határértéken belüli, sem túl alacsony, sem túl magas szintet nem mutat, viszont a csapágnak rendellenes hangja van. Nem sokkal ezután a villamos motor „alacsony olajsint” fény és hangjelzés jelentkezett a vezénylőteremben, amely szintén nyugtázható volt, de törölhető nem. Ekkor a rendellenes csapágyhang már határozottan hallatszott. A kezelési utasításnak megfelelően a szivattyút az operátor rövidesen leállította, amikor is a villamos motor felső csapágy hőmérséklet 147 °C-ot mutatott.

A csapágy szétszerelése után a karbantartó személyzet megállapította, hogy a csapágyból az olaj elfolyt és a csapágy szárazon futása miatt emelkedett meg csapágyfém és az olaj hőmérséklete továbbá ez eredményezte a rendellenes hangokat is. A csapágy a szárazon futás következtében további üzemre alkalmatlan lett, cserélni kellett.

3. AZ ESEMÉNY ELEMZÉSE

Az ok-okozati összefüggések feltárásához az Ishikawa módszert alkalmazzuk. Az ok-okozati diagram célja, hogy megismerjük az összes olyan okot, ami az okozott probléma elkerülését eredményezi vagy másképpen megfogalmazva, ha az összes okot nem ismerjük, akkor nem tudjuk megakadályozni a probléma ismételt megjelenését.

Az okozat a vizsgálatunkban a szivattyú villamos motorcsapágy tönkremenetele. A kérdés az, hogy milyen okok vezethetnek a csapágy sérüléshez és, hogy ezeket az okokat, hogyan tudjuk úgy kezelni, hogy az a jövőben ne okozzon hasonló meghibásodást. Cél, hogy a lehető legmélyebb vizsgálatot végezzük el, az okok gyökeréig kell eljutni.



3. ábra Ishikawa diagram felépítése

A vizsgálat szempontjából a fő okoknak az Ember, Módszer, Eszköz, Környezet, Mérés, Karbantartás lett kiválasztva. Az esemény körülményeit a szerzők, szakmai tudásuk és tapasztalataik alapján, e fő-okok mentén a gyökér okok szintjéig elemezték.

Az alábbi felsorolás az Ishikawa diagram felosztása alapján, de nem a megszokott ábrázolási formában mutatja a főokok-okok egymásra épülését.

Kiindulásként az okozatot kellett megfogalmazni, ami jelen esetben a csapágy tönkremenetele volt.

A felsorolás jellegű „okozat”-„fő-ok”-„ok”-„gyökér-ok” elemzés részeredményei láthatóak az 1–6. táblázatokban, fő-okokként külön, az okok és gyökér-okok megadásával.

Okozat: a villamos motor felső csapágy tönkrement.

Az elkészült Ishikawa diagram alapján megállapított ok-okozati összefüggések részletesebb leírását is célszerű elvégezni az utólagos értelmezési problémák elkerülése végett.

3.1. Az emberi tényező elemzése

Az „Ember” fő-ok szerint mindazon személyzet érintett, akiknek valamilyen hatása lehet az okozathoz. Az érintettek ebből következően az operátor, a gépész, az operátor és a gépész közvetlen vezetője a műszakvezető és az adott szervezeti egység vezetője a csoportvezető. Az érintett személyzetet olyan szintig kell számba venni, ameddig az ok és az okozat közti összefüggés tetten érhető. Jelen esetben a csoportvezetői szint az, akinek a tevékenysége érdemben és kimutatható módon a csapágymeghibásodással összefüggésbe hozható.

<i>Ember</i>	
operátor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ figyelmetlenség ▪ információ továbbítás elmaradása a gépész és a műszakvezető felé ▪ nem megfelelő trendelemzési képesség ▪ hiányos szakmai alapismeretek
gépész	<ul style="list-style-type: none"> ▪ fedőellenőrzés hiánya ▪ nem kellő mélységű informáltság az operátortól ▪ nem ismert csapágyszag kialakulása
műszakvezető	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nem kellő mélységű informáltság az operátortól
csoportvezető	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hiba felismerési, elhárítási gyakorlat nem kellő hatékonysága ▪ gépész fedőellenőrzés előírásának hiánya

1. táblázat Az „Ember” fő-ok okai és gyökér-okai

Az operátor esetében négy gyökér-ok került meghatározásra. Az első a figyelmetlenség volt. Kellő odafigyeléssel a csapágymeghibásodás elkerülhető lett volna. Ha egy hőmérséklet több mint 50%-kal, közel 20 °C-ot változik, akkor annak okát fel kell deríteni és következményeit át kell gondolni. Ebben az esetben az operátor a változás iránt nem fordított kellő figyelmet és nem volt elég alapos, hogy összehasonlítsa a korábbi adatokkal és a többi hasonló szivattyú csapágyszagmértékével. Emiatt nem jelezte sem a gépész, sem a műszakvezető felé a problémát vagy a feltételezett problémát, így nem volt lehetőség a kollektív tudás kihasználására sem, miközben ismert tény, hogy a kollektív gondolkodás az esetek többségében sokkal célravezetőbb és hatékonyabb az egyéni gondolkodásnál.

A figyelmetlenség, mint gyökér-ok szerepel az elemzésben, mindazon által, hogy a figyelmetlenségnek lehettek kiváltó okai, így a figyelmetlenség, mint gyökér-ok tovább bontható. Ellenben az, hogy a figyelmetlenség az emberi természet velejárója és a legtöbb emberi hiba figyelmetlenségből adódik még ideális körülmények között is, ezért érdemes gyökér okként kezelni.

Az okozat operátori gyökér oka lehet még a nem megfelelő trendelemzési képesség vagy a hiányos szakmai alapismeret. Az operátori munkakör leggyakoribb tevékenysége a megfigyelés, az üzemeltett rendszer adatainak elemzése, értékelése. A kiváló minőségű operátori tevékenység nemcsak az adatok egyszerű határértékhez történő összehasonlítását, hanem annak határértéken belüli változását, a változás mértékének, irányának, módjának elemzését is magába foglalja. Röviden ezt trendelemzésnek lehet nevezni. Trendelemzést csak jól felkészített személyzet tud meg-

felelően végrehajtani, hiszen ismerni kell az adott berendezést vagy rendszert, a végbemenő alapvető fizikai folyamatokat, a lehetséges beavatkozási lehetőségeket, a meghibásodás és az elhárítás kockázatát, a berendezés vagy rendszer dinamikus viselkedését, fizikai, mechanikai korlátait.

Egy meghibásodás korai felismerése mind gazdasági, mind biztonsági szempontból fontos. A jól megtervezett előjelzések, retesz- és védelmi értékek optimális üzemeltetést tesznek lehetővé. Ellenben a tervezés során, a tervezőasztalon a minden igényt kielégítő jelzőrendszer megállapítása korlátos. A tervek általában nem tartalmazzák a minden igényt kielégítő jelző- és adatgyűjtő rendszereket, aminek oka lehet például a rendszer dinamikai viselkedésének ismerethiánya, a leendő üzemeltető személyzet szakmai felkészültségének mértéke, a rendelkezésre álló költségkeret, a tervezői felkészültség hiányossága. Emiatt általában már a rendszerek beüzemelése alatt, de főleg a rendszeres használat során derül fény a hiányzó jelzések és adatgyűjtések szükségességére. Az utólagos fejlesztés megvalósíthatósága azonban ekkor már kétséges és ennek következtében jellemzően az üzemeltető személyzet szakértelmével lehet a legkisebb beruházási költséggel pótolni a feltárt hiányokat. Hogy a megfelelő szakértelem elvárása az utólagos beruházásokkal szemben tényleg a legkisebb költséget eredményezi-e hosszú távon, azt csak a mindennapi gyakorlat mutatja meg.

Az esemény következő szereplője a gépész, aki az operátorral együtt felügyeli a szivattyúk üzemét, csak amíg az operátor a vezérlőteremből, addig a gépész a terepen látja el a felügyeletet. A terepi ellenőrzés befejeztével a gépész a vezérlőteremben tartózkodik és az operátorral együtt látja el a távfelügyeletet. A vezérlőtermi tartózkodás során a gépész az adatok ellenőrzésével az operátori felügyeleten túl kiegészítő ellenőrzéseket végezhet, de ezen ellenőrzések gyakorisága nagyban függ a gépész terepi munkájától. A terepi munka ellenőrzésből és szükség esetén beavatkozásokból áll. A beavatkozásokat jellemzően délelőtt, délután kell megtenni, nem jellemzőek az éjszakai terepi beavatkozások. A gépész a vizsgált időszakban a vezénylőteremben tartózkodott, de a fedőellenőrzés nem történt meg vagy, ha igen, akkor a hőmérsékletváltozás megítélése hasonlóan történt, mint az operátor esetében.

A gépész általi fedőellenőrzés nem volt előírva, miközben a gépész és az operátor hasonló szak tudása és gyakorlata ezt biztosíthatta volna.

A hőmérsékletemelkedés tényét az operátor nem továbbította a műszakvezető felé. A műszakvezető nagyobb szakmai tapasztalata eredményezhette volna az esemény időben történő felderítését. A műszakvezető információ hiánya elsősorban az operátor problémafelvetésének elmaradásából következett másodsorban a műszakvezető információ kérés gyakorlatából. A gyakorlat szerint a műszakvezető egyszeri, a műszak elején történő bejárás során ellenőrzi az operátor és a gépész munkavégzési gyakorlatát azután már csak az operátor által közölt információkat elemzi, kivéve a műszak végén történő közös, a műszak alatt történt események elemzését.

3.2. A módszer fő-ok elemzése

A „Módszer” fő-okhoz az adatrögzítés, az adatelemzés és a próbák, mint okok kerültek meghatározásra és az elemzés szempontjából szükséges további vizsgálatra érdemesnek.

Az operátor által írt adatok táblázatos formában, adatlapra történnek. A leírandó adatok számossága meghaladja a kétszázat, aminek a rögzítése kb. 20–25 percet vesz igénybe. Az adatok leírása során a teljes rendszer felügyeletét is el kell látni, ami a fény és hangjelzések figyelésével biztosított.

Módszer

adatrögzítés

- a manuális, papírra történő rögzítés sok időt visz el
- a rögzítendő adatok száma sok
- az adatrögzítés és a rendszerfelügyelet egyszerre végzendő párhuzamos tevékenységek
- adatrögzítési kényszer

adatelemzés

- az adatlapokon csak alsó és felső határértékek vannak megjelenítve
- a táblázatos formába felvitt adatok a trendelemzést nehezíti teszik
- trendelemzési módszerek és korlátok nincsenek a kezelési utasításban meghatározva
- a rögzítendő adatok között nincsenek elkülönítve a fontos és kevésbé fontos adatok
- az adatok közti összefüggések felismerése az operátor szakmai képességére vannak bízva
- a sok hasonló adatbeírás az értékek megkülönböztetését nehezíti teszi
- az előző napi adatokkal az operátor nem tudta összehasonlítani az adatokat, mert éjfél után azok beszédre kerülnek

próbák

- a hőmérséklet és szint mérések a ciklikus próbák során nincsenek ellenőrizve, csak a karbantartás során

2. táblázat A „Módszer” fő-ok okai és gyökér-okai

Az adatok beírása kötelezően óránként egyszer történik.

A beírások során kell az adatok igazságtartalmát és értékét elemezni és összehasonlítani az adatlapokon szereplő alsó és felső határértékekkel, továbbá valamilyen szintű trendelemzést végezni. Az adatok táblázatos megjelenése a határértékekkel történő összehasonlítást egyszerűvé teszi, a változás mértékének megítélést viszont nehezíti. A változás mértéke fejben történő számolás után áll elő, ahogy a végeredmény mértékének összehasonlítása is. A fejben történő és számszerű összehasonlítás messze nem annyira hatékony, mint egy látható diagram grafikus elemzése.

Az elemezhetőséget nagyban segítheti, ha megfelelő grafikus formában jelennek meg az adatok. A grafikus megjelenítés jobban felhívja a figyelmet a változások mértékére, a változás veszélyességére, a lehetséges új egyensúlyi állapot beállási értékére és idejére.

A trendelemzéshez nemcsak a megfelelő grafikus megjelenítések szükségesek, de tudni, kell értelmezni, elemezni is a látott adatokat. A korrekt és megbízható elemzés megköveteli a megfelelő műszaki és fizikai ismeretek meglétét és használatát. Ismerni kell a melegedési és hűlési folyamatok, az egyensúlyi állapotok közti átmenetek, a nem beálló folyamatok, a különböző belső és külső zavarások törvényszerűségeit, amellet, hogy ismerni kell magát az adott gépelemet, berendezést, rendszert.

A mélyebb elemzéshez nemcsak az alapösszefüggések, hanem magasabb szintű, az adatok egymás közti összefüggésének ismerete is szükséges. Jelen esetben az operátor e trendelemzési technikákat és ismereteket nem alkalmazta megfelelően, mert a csapágyfém hőmérséklet változását nem hasonlította össze a csapágyolaj hőmérsékletváltozásával és nem hasonlította össze a hasonló szivattyúk ugyanezen értékeivel sem.



A szivattyúk ciklikus próbái során a hőmérséklet és szintjelzések hihetőségét nem vizsgálták, azt csak az üzemeltető személyzet a napi üzemviteli ellenőrzések során tapasztaltakkal vetette össze.

Hihetetlen adatbeírás esetén sokat segít, ha az operátor összehasonlítja a korábbi adatokkal az éppen aktuális adatot. A kialakult gyakorlat szerint az adatlapok 0–24 órás időtartamot fognak át és éjfél után, jellemzően egy-két órákor, az adatlapokat összeszedik és a műszakvezetői irodába viszik. Az adott napon is így történt, emiatt az operátornak csak utánajárás után lett volna lehetősége az előző napi adatokkal való összehasonlítást elvégezni, amit viszont nem tett meg.

3.3. Az eszköz fő-ok elemzése

Az „Eszköz” fő-ok csapágy, olajhűtő, adatlap, adatkijelző fal és kezelési utasítás okokra lett bontva.

A villamos motor felső csapágya egyben a támcsapágy is. Konstrukcióját tekintve olajkenésű, ferde hatásvonalú, hordógörgős csapágy, merülő olajkenéssel, olajhűtővel ellátva. Az olaj hűtését a szivattyú nyomóoldaláról vételezett hűtővíz látja el, átfolyással. A hűtővíz a hűtőn átfolyva a hűtővízszivattyú szívóoldalára jut vissza.

A szivattyú forgórészének fordulatszáma háromszáz fordulat percenként, emiatt nem tartozik a nagy fordulatszámú gépek közé, de mivel a támcsapágy tartja meg a villamos motor forgórészének több tonnás súlyát, ezáltal nagy terhelésének van kitéve. Az olajkenésnek folyamatosan működnie kell, hogy a csapágy hűtése és kenése megfelelő legyen. A csapágy a nagy terhelés miatt nagyon érzékeny az olajhiányra, olajkenés nélkül élettartama percekben mérhető.

A csapágy a villamos motor méretéből adódóan magasan van, a motor burkolata alá építve, szemrevételezéssel, tapintással nem ellenőrizhető helyen.

Az olajhűtő átfolyásos rendszerű, fűtési radiátorszerű kialakítással, osztó és gyűjtő csöves elrendezésű. A hűtővíz az osztócsőből a gyűjtőcső felé vékony csöveken halad keresztül. A vízdali áramlást elemezve megállapítható, hogy az osztócsőben túlnyomás, míg a gyűjtőcső végén már depresszió van a légköri nyomáshoz viszonyítva. Ennek eredményeképpen, ha a túlnyomásos részen keletkezik a tömörtelenség, akkor a hűtővíz jut az olajba, ha a depressziós részen, akkor a hűtővíz az ejektor hatás miatt kiszívja az olajat az olajtérből. Mind az olaj keveredése a hűtővízzel, mind az olaj eltűnése kenési elégtelenséget okoz. A keveredés, és az így létrejött olajos emulziós kenés kisebb problémát jelent, mert az olajos emulzió még biztosít valamilyen szintű kenést. Megállapítható, hogy a depressziós rész létezése nemcsak amiatt káros, mert az olaj el tud távozni, hanem, mert bizonytalanságot okoz az olajsztint változás megítélésében. Az üzemeltető személyzet számára egyszerűbb egy meghibásodás megítélése, ha csak egyirányú változások lehetségesek. Ráadásul fennáll, annak a kis valószínűségű eseménynek is a lehetősége, hogy, ha egyszerre keletkezik két tömörtelenség az olajhűtőn az egyik a túlnyomásos, míg a másik a depressziós részen. Ilyen esetben az olajtérbe az olaj helyére a víz úgy tud bejutni, hogy az olajsztint észrevehetően nem is változik. Ennek eredményeképpen az olajsztint előjelzés érdemi jelzést nem hozhat, a helyszíni gépész ellenőrzés az olajsztint megfelelőségét állapítja meg miközben a csapágy melegedni fog. Az így létrejött ellentmondás a melegedés és a megfelelő olajsztint között megnehezíti, meghosszabbítja a helyes döntéshozatalt és ezalatt a csapágy tönkremehet.



<i>Eszköz</i>	
csapágy	<ul style="list-style-type: none">▪ érzékeny az olajhiányra▪ nem megközelíthető helyen van
olajhűtő	<ul style="list-style-type: none">▪ a hűtő tömörtelenség helyétől függően hűtővíz kerül az olajba vagy olaj kerül a hűtővízbe
adatlap	<ul style="list-style-type: none">▪ papír alapú, amelyet kézzel, hosszadalmasan kell kitölteni
adatkijelző fal	<ul style="list-style-type: none">▪ az adatokat analóg és digitális módon jelzi ki, trend nélkül▪ az adatkijelző falon lévő megjelenítés nagyon sematikus
kezelési utasítás	<ul style="list-style-type: none">▪ a kezelési utasításban az olajhiány nincs megfelelően szabályozva

3. táblázat Az „Eszköz” fő-ok okai és gyökér-okai

A papír alapú adatlapokkal kapcsolatos tapasztalatok elemzése korábban megtörtént, újabb megállapítás ebben a részben nincs.

Az adatkijelző fal, mint az eseményben részt vevő eszköz itt jelenik meg először. Az adatkijelző falon a különböző mérések a hűtővíz rendszer sematikus ábráján vannak megjelenítve. A megjelenítők analóg és digitális eszközök, amelyek a pillanatnyi értékeket mutatják. A pillanatnyi érték fontossága nem kérdőjeleződik meg, de a jelenlegi kialakítás kiegészítve trend megjelenítésre alkalmas eszközökkel, sokkal hatékonyabb ellenőrzést tenne lehetővé.

A mérések értelmezését segítő rendszer séma hasznos, viszont egy részletesebb séma, amelyen például a szivattyú nem egy körként lenne megjelenítve, hanem a fizikai kinézetét nagyjából követő rajz formájában szintén a könnyebb érthetőséget eredményezné.

A vízkivételi szivattyútelep kezelési utasításban a csapágyolaj hiány nincs megfelelően kezelve. Az utasítás szerint, ha a nézőüvegben az alsó nívószint alá csökken az olaj, akkor gondoskodni kell az utántöltésről. Az utántöltés időbeni korlátozásáról és a lehetséges kockázatokról az utasítás nem ad semmilyen iránymutatást. Ebből a kezelő személyzet arra következtethet, hogy az olajhiányos állapot a szivattyú üzemét nem veszélyezteti és a nézőüvegben lévő olajsint ellenőrzése nem létfontosságú. A meghibásodás után lévő vizsgálat során kiderült, hogy a nézőüveg alsó nívószintje az a minimum, ami alá a szint semmiképpen nem csökkenhet, mert az alatti olajszinteknél a csapágy biztosan szárazon fog futni és tönkre fog menni.

3.4. A környezet fő-ok elemzése

A „Környezet” fő-ok alatt okként a vezérlőterem, a villamos motor környezet és az időpont szerepelnek.

A környezet elemzésekor azt vettük figyelembe, hogy melyek azok a körülmények, amelyek az eseményben közvetlen vagy közvetett módon közrejátszottak.

Legelőször a Vezérlőterem került szóba. A Vezérlőterem egy a mai kornak megfelelő kialakítású helyiség, ahol az ergonómiai és komfortkövetelmények maximálisan biztosítottak. A Vezérlőterem csak a szivattyútelep távfelügyeletét és vezérlését látja el, így ha nincs üzemviteli

művelet, akkor a Vezérlőteremben csak a távfelügyeletet kell ellátni. Kis eseménysűrűség esetén így ez a környezet inger szegénnyé válik, és nem biztosít megfelelő körülményeket a figyelem magas szintű fenntartására.

Környezet

Vezérlőterem

- komfortos tér, ingerszegény környezet

időpont

- hajnali időpont, amely kritikus az emberi szervezet számára

villamos motor környezet

- nem kellően megvilágított csapágyolaj szintjelző
- magasan elhelyezett, nehezen „olvasható” csapágyolaj szintjelző

4. táblázat A „Környezet” fő-ok okai és gyökér-okai

Az üzemeltetői figyelem magas szinten való tartását az esemény időpontja is nehezítette, hiszen a hajnali idő az ébren lévő emberi szervezet számára kihívásokkal teli időszak.

A villamos motor felső csapágy elhelyezkedéséről már szó esett, ezzel kapcsolatban nincs újabb megállapítás.

3.5. A mérés fő-ok elemzése

A „Mérés” fő-ok elemzése során a hihetőség, az előjelzés és a mérések fajtája tűnt fontosnak.

Egy leolvasott adatnál a legelső minősítő szempont az adat hihetősége. A hihetőség vizsgálatnak többféle módja van, de legegyszerűbb és a leggyorsabb minősítési módszer a megfelelő gyakorlat és szakértelem megléte. Amennyiben ez adott, a hihetőség vizsgálat, még akkor sem egyszerű, mert a mért és a kijelzett érték közötti hirtelen változás adódhat a mért érték tényleges megváltozásából vagy a mérőkör hibás működéséből is. Lehet továbbá olyan eset is, – ilyennel itt most nem találkoztunk, – hogy a mérőrendszer hibája miatt a mért és kijelzett érték nem változik, miközben a valós érték ténylegesen megváltozott. Ha kétely merül fel egy érték hihetőségét illetően, akkor a legjobb, ha rendelkezésre áll egy redundáns mérés. A redundáns mérés kialakítása általában a mért érték fontossága és a megvalósításkor rendelkezésre álló költségek függvénye szokott lenni. Jelen esetben a csapágyfém hőmérsékletnek nem volt redundáns mérése, sem előjelzése. Redundáns mérésnek lehetne használni áttételesen a csapágyolaj hőmérsékletet is, de vizsgált esetben kiderült, hogy a csapágyolaj-hiány jelzési értéke olajhiány esetén már nem tudja megvédeni a csapágyat a tönkremeneteltől.

Ha már nincs redundáns mérés, akkor célszerű a mért paramétert előjelzéssel ellátni. Az előjelzés kiépítése megoldható az adott mérés határérték képzésével, de ennek hátránya, hogy a mérőkör meghibásodásával az előjelzés és a tényleges mérés egyszerre hibásodik meg. Ennél nagyobb mérési biztonságot eredményez, ha az előjelzés a tényleges méréstől teljesen független módon valósul meg.



Mérés

hihetőség

- az adatok (olajsztint, hőmérsékletek) hihetőségének ellenőrzése nem biztosított
 - nincs redundáns mérés

előjelzés

- nincs csapágyhőfok előjelzés
- az olajhőfok előjelzés nem védi meg a csapágyat a meghibásodástól

mérések fajtája

- csak táv hőfokmérés van
- csak helyszíni olajsztint mérés van
- az olajsztintjelzőn az olaj vizesedése nehezen vagy egyáltalán nem látható

5. táblázat A „Mérés” fő-ok okai és gyökér-okai

A mérések megvalósításának redundanciája a mérés megbízhatóságát tovább növeli. Célszerű a fontosabb méréseknél a helyszíni mérés megjelenítést kiépíteni a lehető legegyszerűbb mérőelemekkel például higanyos hőmérővel.

A csapágyolaj szint mérése csak a helyszínen volt, ennek távmérése megfontolandó, mert a korábban elemzett módon az olajsztint lefelé és felfelé is változhat az olajhűtő tömörtelenség helyének függvényében. Fontos diagnosztikai paraméter lehet az olajsztint, viszont kiépítése meglehetősen költséges, emiatt pontos költség-haszon elemzés után lehet hasznosságáról dönteni.

A helyszíni üveges olajsztintjelző elhelyezkedése és a nézőüveg opálosodása miatt nehezen látható olajsztintet eredményez, és ez jelentősen megnehezíti az olaj elvizesedésének felismerését.

3.6. A karbantartási rendszer elemzése

Az utolsó fő-ok a „Karbantartás” volt, amelyet az olajhűtő, a motorcsapágy és a mérések tekintetében vizsgáltunk meg.

Karbantartás

olajhűtő

- TMK jellegű karbantartása van

villamosmotor támcsapágy

- TMK jellegű karbantartása van

mérések

- TMK jellegű karbantartása van
- a szintjelző karbantartási utasítása nem biztosítja az egyértelmű alacsony olajsztint beállítást

6. táblázat A „Karbantartás” fő-ok okai és gyökér-okai

Az olajhűtőnek és a villamosmotor támcsapágyaknak TMK (tervszerű megelőző karbantartás) jellegű karbantartása van. A TMK jellegű karbantartás alatt a hűtő nyomáspróbáját és a támcsapágy teljes cseréjét is elvégzik. Jelen esetben a csapágy működése megfelelő volt, míg a hűtő az egyik hegesztési varratnál lett tömörtelen. A TMK jellegű karbantartás eddig megfelelőnek bizonyult, mert korábban hasonló jellegű probléma nem volt. A hűtő varratainak beépítés



előtti ellenőrzését lehet fokozni egy alaposabb varratvizsgáló módszerrel, mint például röntgenezéssel, a jelenleg alkalmazott penetrációs vizsgálathoz képest.

A méréseknek szintén TMK jellegű karbantartása van. Az olajsztintjelző mérés beállításának helytelenségét is megállapította a vizsgálat, mert az alacsony olajsztint jelzés megjelenésekor a csapágy olajsztintje nem biztosította már megfelelő olajzást. Az alacsony olajsztint jelzésnek természetesen akkor kell jelezni, amikor lecsökken az olajsztint, de még azelőtt, mielőtt a csapágy tönkremenne. A vizsgált esetben ez nem így volt a csapágy olajsztint alacsony jelzés egyenértékű volt a csapágy tönkremenetelének jelzésével.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

Az Ishikawa módszer szerinti elemzés megerősítette, hogy alaposabb elemzést tesz lehetővé, mint az általános mérnöki gondolkodásból adódó elemzés.

A feltárt hiányosságok összefüggnek egymással és célszerű összevonásokat végezni, mert így kevesebb javító intézkedést lehet javasolni. A javító intézkedések számát célszerű az optimális minimumra csökkenteni, mert az összes javító intézkedés egy időben történő megtétele nem lenne reális sem a költségeket, sem a fizikai megvalósíthatóságot tekintve. Amennyiben az elemzés során a munkakultúrával kapcsolatos javító intézkedések fogalmazódnak meg, akkor azok hatékonysága csak nehezen mérhető egyrészt a nehezen megfogható cél és elvárás, másrészt a nagy átfutási idő miatt.

A gyökér okokat összegezve, és a minimumra csökkentve, az alábbi javaslatok ajánlottak:

- ellenőrizni kell a csapágyolaj nézőüveg beépítési helyességét;
- a csapágyolaj szintkapcsoló karbantartási utasítását pontosítani kell és a beállítást összhangba kell hozni a nivóüvegen látható szintekkel;
- a csapágyfém hőmérséklet előjelzést ki kell építeni és a szabályzását a kezelési utasításba szerepeltetni kell;
- a kezelési utasításban az alacsony csapágyolaj szintre vonatkozó utalást pontosítani kell;
- felül kell vizsgálni az adatlapokra rögzített értékek szükségességét és hasznosságát és amennyiben lehetséges csökkenteni kell a beírt adatok számát;
- a megmaradó adatokat úgy kell csoportosítani, hogy az egymásra hatással lévő adatok elemzése hatékonyabb legyen;
- az adatlapokat nem éjjel után kell a vezérlőteremből összegyűjteni, hanem a reggeli műszakváltás után;
- a gépész, a vezérlőteremben való tartózkodás ideje alatt, ellenőrizze az operátor által beírt adatokat, végezzen fedőellenőrzést;
- az operátorok szakmai, kockázat- és trendelemzési tudását fejleszteni kell;
- a kezelési utasításban az egyes adatlapra írt értékek egyéb üzemviteli korlátait is meg kell jeleníteni és lehetőség szerint azokat az adatlapokon fel kell tüntetni, mint például megengedett változási sebesség;
- a kezelési utasításban ki kell dolgozni olyan gyakorlati példákat, amelyek az üzemeltett berendezések és rendszerek dinamikus viselkedésének mértékét mutatják be;



- az olajhűtő hidraulikáját módosítani kell olyan formában, hogy csak túlnyomásos állapotú hűtővíz legyen benne, például egy a hűtő utáni torlasztó-tárcsa beépítésével;
- az adatlapokra írt adatokat digitális adatrögzítőre kell rögzíteni, amely digitális adatrögzítő grafikonos megjelenítést, trendelemzést tesz lehetővé, szükség esetén javaslatot ad a beavatkozások lehetőségeire;
- a szivattyú vezérlőterem teljes irányítástechnikai rekonstrukcióját kell megvalósítani és azon belül kezelni az adatgyűjtési, archiválási, adatelemzési eljárásokat.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban egy erőművi hűtővíz szivattyú meghibásodása esettanulmányán keresztül írtuk le az üzemeltetési kockázat meghatározó elemeit. A bemutatott Ishikawa elemzés általános és speciális következtetések levonására alkalmasak. További kutatási célunk az üzemellenőrzési folyamatok új modell-leírási, vizsgálati, és optimalási módszereinek feltárása és azok alkalmazási lehetőségeinek bizonyítása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Büki Gergely Fosszilis erőművek, Budapest, 2005
- [2] Józsa István Örvényszivattyúk, (Konstrukció, Üzemeltetés, Karbantartás), Budapest, 2003.
- [3] Kantner, Rob QS 9000 Válaszok könyve, Panem Kft, Budapest, 1999
- [4] Kövesi János – Topár József A minőségmenedzsment alapjai Budapest, Typotex Kiadó, 2006.
- [5] POKORÁDI LÁSZLÓ Karbantartás elmélet, Debrecen, 2002.
- [6] Water & Electricity, How it Works, (online) url: <http://www.eurelectric.org/water/> (2013.02.19.)
- [7] ZVIKLI SÁNDOR Járműpark üzemeltetési rendszere vizsgálatának Markov típusú folyamatmodellje, Győr, 2011

Daruka Norbert¹

OKTOKOPTER A LÉGI SZÁLLÍTÁS MODERNIZÁCIÓJA, VAGY A ROBBANÓSZER- KEZETEK CÉLBA JUTTATÁSÁNAK ÚJABB LEHETŐSÉGE²

A pilóta nélküli repülőeszközök fejlődésének köszönhetően a biztonságtechnika egyik kiemelten fontos kérdésévé vált az eszközök bűnös célú felhasználásának megvalósíthatósága. A technológia fejlődésével új eszközök jönnek létre, melyek a vállalatok közötti versengés hatására, a légi szállítás forradalmasítását helyezik előtérbe. Ebben a felgyorsult, modern légi szállítási rendszerben azonban nincs helye a bűnös szándékú, terror jellegű felhasználásnak, de a terrorszervezetek tagjai nem az üzleti sikereket tekintik mértékadónak, hanem a robbanószerkezetek célba juttatásának egy újabb, jól kivitelezhető lehetőségét. Az új technológia mindenki számára elérhetővé válik, s így nemcsak egy korszerű szállítási lehetőség, hanem a jövő fegyvere is lehet.

OKTOKOPTER

THE MODERNISATION OF THE AIR TRANSPORT, YOU ARE YOUR EXPLOSIVE HAND INTO AN AIM THE NEWER OPPORTUNITY OF HIS ALLOCATION

Owing to the development of unmanned aircraft, the feasibility of those assets for criminal goals has become a core question of safety technology. New assets are existing with the progression of technology which – as the effect of the rivalry of companies – takes the revolution of aerial transportation to the foreground. In this accelerated contemporary transportation system there is no space for criminal intentional terrorist featured utilization but participants of terrorist groups don't seek business successes but the well feasible opportunities of delivering explosive devices. The new technology becomes affordable for everybody thus it can be a future weapon and not just a modern transportation opportunity.

BEVEZETÉS

A terrorizmus arculatának és módszereinek változása az aszimmetrikus hadviselés folyamatos fejlődéséhez vezetett. A globális biztonságot veszélyeztető fenyegetések fajtái és a megnyilvánulási formái napjainkban teljesen más képet mutatnak, mint az elmúlt évtizedekben. Manapság kiemelt kockázati tényezőként kell kezelni az etnikai zavargásokból kialakult helyi háborúkat és terrortámadásokat. A terrorszervezetek folyamatos szervezetszerű gyarapodása lehetőséget teremt a merényletek számának ugrásszerű növekedésére. A technológia fejlődésével és az információ áramlás globális lehetőségeit kihasználva a bűnös céllal kialakított robbanószerkezetek jelentik a legnagyobb kihívást a terrorszervezetek robbantásos merényletei ellen tevékenykedő szakemberek számára. Sajnos kijelenthető, hogy a technológia gyors fejlődését nem követi a biztonsági kockázatok vizsgálati, valamint jogalkotói folyamata. Elmondható, hogy gyakran be kell következni egy általában nagy veszteségeket eredményező

¹ Magyar Honvédség 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred; daruka.norbi@gmail.com

² Lektorálta: Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens, PhD, katonai műszaki tudományok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tan-
szék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

merényletnek, vagy merénylet sorozatnak, hogy a biztonsági kockázatok vizsgálata és az el-lentevékenységek bonyolult megvalósulásának folyamata egyáltalán beinduljon. A szerző az előzőekben leírtak figyelembevételével kívánja jelezni egy új fenyegetés megjelenésének le-hetőségét, mely a pilóta nélküli repülőeszközök által történő szállítás kockázatain alapszik.

„Drónokat tesztel a világ legnagyobb internetes kereskedelmi cége, az Amazon. Az amerikai vállalat házhozszállításra akarja használni a pilóta nélküli repülőgépeket, amelyek tesztípu-sa, az Oktokopter fél óra alatt célba ér egy 2,3 kilogrammos áruval.”³

Az Amazon cég ezt a típusú szolgáltatást PrimeAir néven kívánja biztosítani megrendelői szá-mára, s az ügy komolyságát jelzi, hogy a szükséges engedélyek beszerzését a Szövetségi Lég-ügyi Hivatal⁴ irányába a tavalyi év végén megindították. Az Amazon cég vezérigazgatója sze-rint a megrendeléseik 86%-át a körülbelül öt font tömegű (kb. 2,5 kg) termékek teszik ki. A szükséges engedélyek birtokában az említett cég lenne az első, aki polgári célú alkalmazásra kapna felhatalmazást a pilóta nélküli repülőeszközök tekintetében. A polgári légi közlekedés az Egyesült Államokban egyébként 2015-től, Európában 2016-tól nyitva áll a drónok előtt.

Az oktokopter megjelenése és fejlődése

Az oktokopter olyan repülőgép, amelyet nyolc rotor emel a levegőbe. A legtöbb mai helikop-tertől eltérően a rotorok fix beállítású tollakkal rendelkeznek, tehát ezek nem váltanak irányt, miközben a rotor forog. A légi jármű mozgását az egyes rotorok relatív sebességének és nyo-matékának változtatásával lehet irányítani. A rotorok oldalak szerint ellentétes irányban fo-rognak, így biztosítják a jármű stabilitását és szállítási kapacitását. [1]



1. ábra Oktokopter a légi fotózáshoz szükséges kamerával⁵

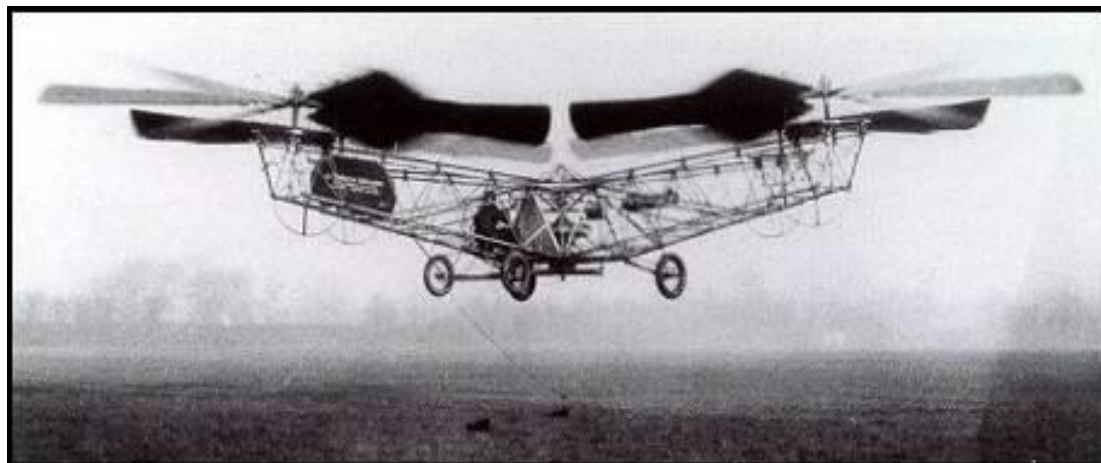
Az oktokopter megjelenése a négyrotoros kvadrokopterek fejlődésének köszönhető. Az első próbálkozások még emberek szállítására irányultak és általában anyagi nehézségekből adódó-an és a kutatások nehézségei miatt nem vezettek eredményre. A négyrotoros gépek első gene-

³ Forrás: http://nol.hu/kulfold/dronok_hazhozszallitasra?ref=sso; (2014.02.06)

⁴ Szövetségi Légügyi Hivatal - Federal Aviation Administration (FAA) a nemzeti légügyi hatóság az Egyesült Államokban, amely többek között szabályozza a polgári légiközlekedést.

⁵ Forrás: <http://www.origo.hu/techbazis/20120912-filmeket-fog-felvenni-a-magyar-kutaszdroid.html>; (2014.02.02)

rációját az US Army Air Corps⁶ megrendelésére Dr. George de Bothezat és Ivan Jerome építette az 1920-as évek elején. Bár masszív, hattollú rotorjai révén képes volt repülni, túl bonyolult volt a kormányzása, ami a pilóta dolgát nagyon megnehezítette és csak előre tudott haladni, azt is akkor, ha kedvező volt a szél. Ezt tartották akkoriban az első sikeres helikopternek.



2. ábra Jerome-de Bothezat Flying Octopus⁷

A környezeti hatásokat nem sikerült kiküszöbölni és anyagi megfontolásból a hadsereg 1924-ben törölte a programot és a gépet selejtezték. Az eszközök fejlődésének következő lépcsőjét a pilóta nélküli járművek megjelenése jelentette a köznyelv az angol betűszó alapján UAV⁸-nak nevezi az ilyen eszközöket. Maga az UAV, mint kifejezés a nyolcvanas évektől kezdett elterjedni. A megelőző évtizedek technikai fejlesztései nyomán a pilóta nélküli repülőgépek minőségileg új nemzedékét nevezték így. Az ember által rádió berendezés segítségével távolról irányított repülőmodellekhez hasonló eszközök RPV⁹ néven kerültek a köztudatba. [2][3]

*A pilóta nélküli repülő eszköz fogalma körül némi zavar tapasztalható mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalomban. Számos betűszó és angol kifejezés vonatkozik ugyanarra a fogalomra, megzavarva egymás jelentését. Ehhez adódik azután a magyar fordításból adódó további fogalmi zűrzavar.*¹⁰ [4]

A napjainkban alkalmazott repülőeszközök már olyan érzékelőkkel vannak ellátva, melyek lehetőséget biztosítanak az épületen belül és kívül történő alkalmazásukra, melyet kis méretük és gyors irányváltóztatási képességük is elősegít. Az eszközök fejlesztése folyamatosan zajlik

⁶ USAAC - United States Army Air Corps: Az Amerikai Egyesült Államok hadseregének légi szolgálata, melyet 1926. július 2-án neveztek át.

⁷ Forrás: http://www.aviastar.org/helicopters_eng/bothezat.php; (2013.02.16)

⁸ UAV - Unmanned Aerial Vehicle: Pilóta nélküli repülőeszköz

Ilyen repülőeszközöket a katonai repülésben az 1960-as évek óta alkalmaznak, olyan feladatokra, amelyek túl veszélyesek ahhoz, hogy emberek életét kockáztassák teljesítésük érdekében; túl sokáig tartanak (esetleg több napig), így csak több pilóta lenne képes teljesíteni; olyan kevés eszközt igényelnek, hogy a pilóta és a kezelő-személyzet önmagában többszöröse lenne a hasznos tehernek

⁹ RPV - Remotly Piloted Vehicle - Távirányított jármű

¹⁰ A fogalommal és fordítási problémákkal kapcsolatban bővebb információkat lásd: Bunkóczi S. - Dudás Z. Hogyan tovább: Pilótával vagy nélküle?, Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények; http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003_2/05_bunkoczi_dudas.pdf



és egyre több kiegészítő berendezés kerül elhelyezésre a légi járművön. Ebből adódóan növelni kell a kopterek hordképességét, melyet elsősorban a lapátok méretének és darabszámának növelésével lehet megvalósítani, így alakultak ki a kvadro-, hexa-, illetve oktokopterek. A rotorok darabszámának növelésével a méreti adottságok mellett növelni lehetett a szállítható teher nagyságát és bármely rotor meghibásodása esetén repülőképes maradt, ezzel gazdaságos alkalmazást valósított meg.

Ahogy a bevezetőben ismertettem a polgári alkalmazás is egyre jobban előtérbe kerül. Az eszközök megbízhatósága, kiváló időjárás állósága szavatolja eredményes alkalmazásuk lehetőségét. Az eszközök fejlesztésében nagy előnyt jelentett a szállítható tömeg növelésének lehetősége. Jelenleg olyan eszközök is működőkészesnek bizonyulnak, melyek öt kilogrammnyi tömeggel is képesek feladatokat végrehajtani, akár fél órás időtartamban is. A szállítmány, mely egy adott méreten belül bármit tartalmazhat, jelenti a szállítmányok célba juttatásának forradalmasítását. Mi történik, ha ezt a modern szállítási lehetőséget nem megfelelő módon alkalmazzák?

A drónokkal történő szállítás biztonsági kockázatai

A kisméretű szállítmányok gyors és olcsó célba juttatása minden kereskedő álma, hiszen a vásárlói kör elégedettségét a megrendelt termék minőségét követően a kiszállítás gyorsasága határozza meg. Több cég is próbálkozik a pilóta nélküli eszközökkel történő szállítás technológiai megvalósításán. A világ legnagyobb csomagküldő vállalata is már jó ideje teszteli a pilóta nélküli légi járműveket csomagok és áruk mozgatására, viszont ők nem kizárólag kereskedelmi felhasználásban gondolkodnak. Az eszközöket többnyire a raktárhelyiségek közti csomagmozgatásban, illetve repterek és távolabbi depók közti szállításban alkalmazzák. A rendszerbe állítás fő motiváló tényezője ebben az esetben is a költségek csökkentése és a szállítási idő minimalizálása.

Látható, hogy a helyi és a külső szállítási feladatok tekintetében is a piacvezető vállalatok a drónok alkalmazását helyezték előtérbe, az eszközök valódi munkába állása azonban eleve számos jogi kérdést vet fel, mindemellett operatív jellegű akadályok nehezítik az elindulást, és még jelentősen javítani kellene az objektum felismerés és kikerülés technológiáján is. Jelenleg csak a GPS-koordináták alapján egyáltalán nem biztos, hogy a kocsifelhajtóra leszállva nem a kocsiba vagy a futkározó kisgyerekekbe ütközik a mini oktokopter. Vannak olyan érzékelő berendezések, melyekkel kiküszöbölhetőek ezek a problémák, de ezek a hatályos szabályozás szerint a polgári szektor számára még elérhetetlenek. Az eszközök működését úgy képzeltek el, hogy a megrendelő megadja a kiszállítás koordinátáit, s ha az oktokopter a szállítmánnyal megközelíti azt, jelzés érkezik a megrendelő telefonjára (okos telefonokhoz kötött szállítási feltételek) és minimális távolságból már átveheti a megrendelő az eszközök leszállásának irányítását, így küszöbölve ki a balesetek előfordulásának lehetőségét.

A legnagyobb kockázati tényezővel azonban senki sem foglalkozik. A szállítási folyamatban beérkezik a megrendelés az adott céghez, amely egy tároló dobozban elhelyezve a terméket az oktokopterrel a megadott koordináták alapján útba indítja azt. Az eddig ismert adatok alapján a kiindulási pont és a cél állomás közötti távolság maximálisan 16 kilométer lehet, a szállítmány súlya pedig nem haladhatja meg a 2,3 kilogramm tömeget. A két pont közötti távolságon belül senki sem ellenőrzi, hogy a csomagban valóban a megrendelt termék van vagy va-

lami más. A kábítószerek kereskedelmének felvirágoztatásához ez a szállítási lehetőség ideális, hiszen közel 2,5 kg drogot pontos célba juttatása a lebukás veszélye nélkül valósítható meg. Fontos szempont az is, hogy a szállítmányt útba indító személy kiléte folyamatosan rejtve marad, még a leleplezésre került szállítmány esetében is.

A valódi veszélyforrás azonban az, ha robbanószerkezeteket juttatnak célba az említett módszerrel. A gyanútlan áldozat ez esetben nem is sejt, hogy például a megrendelt csatlakozó, könyv vagy étel helyett egy robbanószerkezet kerülhet a közvetlen közelébe. A szkeptikusok talán azt mondják, hogy 16 kilométer távolságból úgy sem tudja a merénylő, hogy mikor kell robbantania a szerkezetet. Az így gondolkodó személyek figyelmébe ajánlom a különböző érzékelőkkel felszerelt robbanószerkezetek tanulmányozását. Mivel a robbanószerkezetek egy zárt csomagolásban kerülhetnek kiszállításra, csak egy fény vagy egy fotocella szükséges a rendszer működéséhez. Az áldozat nem is sejt, hogy a csomag kinyitásának pillanatában az életével játszik.



3. ábra Az Amazon cég PrimAir szolgáltatása¹¹

A robbanószerkezetek működtetéséhez tehát nem szükséges távirányítás és az merénylőnek sem kell látótávolságon belül tartózkodnia. Természetesen az érzékelővel ellátott robbanószerkezetek nem válogatnak a lehetséges áldozatok között, így akkor és annál lépnek működésbe, akinél a csomag kinyitásra kerül.

ROBBANÓ POSTAI KÜLDEMÉNYEK

A robbanó postai küldemények a terrorista merényletek sajátos eszközei, amelynél a pokolgép elhelyezéséhez az elkövetőnek meg sem kell jelennie a robbantás helyszínén. Az ilyen eszközök alkalmazásánál a küldemény egy olyan tárgy, amelyet egy személynek vagy szervezetnek név szerint megcímeztek, és a posta vagy egy ismert szállító továbbította. Ha postai úton történik a kézbesítés, nem lehet pontosan tudni, hogy mikor kapja meg a címzett a küldeményt. [5] Emiatt szinte kizárható egy késleltetett szerkezet alkalmazása, és feltételezhető, hogy kinyitáskor lép működésbe a robbanóeszköz.

¹¹ Forrás: <http://www.bbc.co.uk/news/technology-25180906>; (2014.02.10)

Levélbe rejtett improvizált robbanószerkezet

Az eszköz egyszerű felépítésű: csomagolás, robbanóanyag és indítószerkezetek alkotja. Általában szokványos postai boríték, gyakran a 16x11 cm-es méret kerül felhasználásra.

Katonai, polgári vagy házi készítésű robbanóanyagokkal készítik ezeket a szerkezeteket. A leggyakrabban használt robbanóanyagok a TNT, TATP, RDX, detalemez, szalagtöltet. Lényeges szempont, hogy méretük és hatóerejük alkalmassá tegye ezeket az anyagokat a levélbomba előállítására. Halmazállapotuk lehet szilárd, ilyen esetben port vagy képlékeny robbanóanyagot használnak. A folyékony halmazállapotú robbanóanyagoknál általában egy szívószállal helyezik a robbanóanyagot a borítékba. Tömegük hatóerejüktől függően 5–30 g. A robbanóanyag a két vastag kartonlap közötti vékony lapka kialakításban elég jól elrejthető. Nehezíti a felderítést az az elterjedőben lévő módszer, amikor a papíryanag robbanóanyaggal van impregnálva. [5]



4. ábra Levélbomba kialakítási lehetősége¹²

Az átvilágítás elkerülése érdekében gyakran alufólia bevonattal látják el a boríték belsejét. Indítószerkezetének működési elve alapján lehet mechanikus, kémiai, elektromos vagy ezek kombinációja. A levélbomba hatását 30–50 cm sugarú körben fejt ki, melyen belül alkalmas arra, hogy halált, illetve súlyos kéz- vagy fejsérülést okozzon a levél felnyitásakor.

Csomagba szerelt improvizált robbanószerkezet

A csomagbomba működése szinte teljesen megegyezik a levélbomba működésével. Veszélyessége abban rejlik, hogy nagyobb mennyiségű robbanóanyag helyezhető el benne, így a pusztítás hatósugara jelentős mértékben növekedhet. A csomagküldemények sajátosságából adódóan nem tűnik fel, ha egy csomag tömege eléri a 2–5 kg-ot, így lehetőséget biztosít hatásnövelő repeszek elhelyezésére is. [5]

Az ellenőrzés nélkül célba juttatott küldemények tehát reális veszélyforrást hordoznak magukban, s lehetőséget biztosítanak a terrorszervezetek számára céljaik eléréséhez. Az oktokopterek zárt postai láncba történő beillesztése komoly biztonsági kérdéseket vet fel.

¹² Forrás: Letter Bomb Model; – In. <http://www.securesearchinc.com/letter-parcel-mailing-tube-ieds-letter-bomb-model/>; (2012.05.10)

Érzékelőkkel ellátott improvizált robbanószerkezetek

Az improvizált robbanóeszközök¹³ kialakulása a II. világháború cselekményeinek, elsősorban a villámháborús tervek hatásainak köszönhető. A háború kezdetén a védelmi műveletek időszakában, a hadianyag hiánya miatt, a támadó német fél technikai eszközeinek megállítására, a helyszínen készített anyagok felhasználásával improvizált robbanószerkezeteket készítettek és alkalmaztak. Az első improvizált robbanóeszközöket „Molotov-koktél”¹⁴ néven a spanyol polgárháborúban alkalmazták Franco tábornok erői egy szovjet harckocsioszlop ellen. [5]

Az improvizált eszközöket technikailag folyamatosan fejlesztették. Az eszközök hatóerejének növekedésével a biztonsági távolságot is folyamatosan növelni kellett, így létrejöttek a távirányítással működtetett eszközök, amelyek alkalmazásakor a támadónak már nem kellett dobótávolságra megközelítenie a célt. Az eszközök gyors fejlődéséhez és különböző módon történő alkalmazásához nagyban hozzájárult a vietnami háború, ahol a meglepő aknák „booby trap”¹⁵ használata alapvető harceljárás volt. Ez a fajta gerilla harcmodor nagyon gyorsan elterjedt az egész világon. [5] Szélsőséges vallási és politikai terrorszervezetek, felkelő, lázadó erők és egyéni elkövetők alkalmazták céljaik elérése érdekében. A háborús területekről könnyen beszerezhető robbanóanyagok hatására még hatékonyabb robbanószerkezeteket lehetett előállítani. Az egyre hatékonyabb, nagy pusztítást végző szerkezetek alkalmazása is népszerűbb lett.

Az érzékelővel ellátott robbanószerkezetek kialakítása nagy szakértelmet és teljes körű precizitást igényel, mivel ezek az eszközök nagyon érzékenyek a külső behatásokra. A robbanószerkezet kialakításánál megfigyelhető egy elektromos áramkörbe beépített érzékelő, amely vagy a detonációt fogja közvetlenül indítani, vagy „csak” élesítési funkcióként használják. A drónokkal történő célba juttatás tekintetében a mozgásérzékelővel, illetve a fényérzékelővel ellátott improvizált robbanószerkezetek jelentenek potenciális veszélyforrást.

A mozgásérzékelővel ellátott IED-k a mozgásérzékelő egység látóterében fellépő hőmérséklet-változás révén érzékelik a mozgást, a melegvérű élőlények hőkisugárzása és a környezeti hőmérséklet közti különbséget felhasználva. Mozgásérzékelők tekintetében megkülönböztünk csak passzív infravörös, illetve mikrohullámú érzékelőkkel kombinált kivitelűeket.

A fényérzékelővel szerelt IED-k a fény erősségének gyors változására reagálva lépnek működésbe, s ebből adódóan működtetik el a robbanószerkezetet. Általában épületen belül történik az alkalmazása személyek ellen, nagy repeszképző hatásfokkal bíró szerkezettel szerelve. Az eszközöket minden esetben nappal helyezik el a robbantás helyszínén, ezzel biztosítva,

¹³ Bővebben lásd: Bűnös célú/terror jellegű robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, különös tekintettel a tűzszerész feladatok ellátására; doktori (PhD) értekezés Nemzeti Közszerológiai Egyetem 2013.

¹⁴ Molotov-koktél: egy egyszerű üvegpalackból, benne gyúlékony anyagból (benzin, gázolaj kátránnyal és zsíradékkal keverve), egy fojtásból, valamint egy gyújtókanócból áll. A palackból kilógó kanócot alkalmazás előtt meggyújtják, a kézigránáthoz hasonlóan elhajítva (ritkábban parittyával kilöve) juttatják célba. Becsapódáskor az üveg összetörik, a palack tartalma a célon szétfröccsenve meggyullad, majd magas hőmérsékleten ég, a hirtelen keletkezett tűz a járművet felgyújthatja. A célpont felgyújtására használható, de vannak robbanó változatai is.

¹⁵ Booby trap: meglepőakna. Egy robbanó vagy nem robbanó szerkezet, illetve más, veszélytelennek tűnő tárgy, melyet szándékosan úgy helyeznek el, hogy az akkor működjön és okozzon veszteséget, amikor egy látszólag ártalmatlannak látszó tárgyat megmozdítanak, vagy biztonságosnak tűnő tevékenységet folytatnak.

hogy az érzékelő ne lépjen működésbe. A szerkezet akkor detonál, amikor egy sötét helyiségben felkapcsolják a világítást.

A problémát az említett érzékelők tekintetében az jelenti, hogy egy egyszerű barkács áruházban beszerezhetőek a kellékek, ezek súlya pedig alkalmassá teszi csomagokban történő elhelyezésre, majd szállításra valamilyen robbanóanyag indítási mechanizmusaként.

A drónok rendvédelmi alkalmazása

A Szövetségi Légügyi Hivatal az elmúlt években a rendőröknek és kormányzati ügynökségeknek körülbelül 1400 engedélyt adott ki drónok röptetésére. Ezek a drónok többségében négyrotoros kvadrokopterek voltak, melyeket a légi felderítés hatékonyságának növelésére alkalmaztak.

A katonai célú alkalmazás eszközei, ha a múltba tekintünk vissza, vagy túlzottan nagyok, vagy felderítési feladatokra korlátozottan voltak alkalmasak. Az igények hatására mára már több olyan repülőeszköz is kifejlesztésre került, melyek alkalmazásával hatékonyan vehető fel a küzdelem a robbantásos cselekmények kivitelezésére készülő terroristákkal szemben. Az IdZ¹⁶ alegységek Afganisztánban alkalmaztak egy kisméretű, közel 1 méter átmérőjű nappali és infrakamerával ellátott, közel-felderítésre alkalmas pilóta nélküli kvadrokoptert¹⁷, amely a felderítési adatokat valós időben képes biztosítani a katonáknak. [6]



5. ábra Az IdZ alegység felderítő kvadrokoptere¹⁸

A fegyveres szervezetek többsége nem épít saját felderítő repülőeszközt, hanem egy már meglévő és jó konstrukciójú megoldást választanak, és ezt saját igényeik szerint gyártatják a kivitelező céggel. Ilyen szervezet például a CAPS¹⁹. A kínai rendőrség különleges bevetési cso-

¹⁶ IdZ – Infanterist der Zukunft a német haderő fejlesztési projektje. A német haderő a megváltozott kihívások és harci feladatok sikeressége miatt indította a programot. Célul tűzték ki a német katona ellátását olyan korszerű eszközökkel, amelyek nagyfokú védelemmel és az eddigiéknél sokoldalúbb feladat-végrehajtó képességgel ruházzák fel a külföldön feladatot teljesítő katonákat.

¹⁷ Bővebben lásd: Kvadrokopter mint lehetséges felderítő eszköz, avagy a repülő polip visszatért; Repüléstudományi Közlemények online folyóirat XXV. évfolyam 2013/2. szám. HU ISSN 1789-770X

¹⁸ Forrás: <http://www.rp-online.de/politik/der-soldat-der-zukunft-1.2229211>; (2013.02.17)

¹⁹ CAPF – Chinese Armed Police Forces – kínai rendfenntartó rendőrség.

portja Németországból vásárolt saját igényeit kielégítő kvadrokoptereket. A Microdrones GmbH. által készített és forgalmazott Mi MD4–200, valamint Mi MD4–1000 pilóta nélküli repülőeszközt ugyan ipari alkalmazásokra tervezték, de több igény is felmerült antiterrorista feladatoknál történő alkalmazására. A kínai rendőrségen kívül a liverpooli rendőrség is használja a Microdrone MD4–200 kvadrokoptert mint bizonyítékgyűjtési eszközt, és a West Midlands-i tűzoltóság is vásárolt ugyanebből a típusból a válsághelyzetek támogatására. [5]

A Raptr harcászati helikopter, bár csak méreteiben hasonlítható össze a több rotoros drónokkal, mindössze 15 kg tömegű és többórnyi feladat- végrehajtásra alkalmas. Első pilantásra egy mini helikopterre emlékeztet. A helikoptert és kiszolgáló rendszerét sikeresen alkalmazzák Dél-Afrikában az orvvadászat visszaszorításának feladataihoz, és Kolumbiában kábítószer-ellenes feladatok végrehajtásánál. A brazil hadsereg és a rendőrség terrorizmus elleni műveletek támogatásának érdekében a 2014. évi labdarúgó-világbajnokság biztosítási feladatainál kívánja alkalmazni.

ÖSSZEGZÉS

A technológia és ezen belül is a repülés-technika felgyorsult fejlődésének köszönhetően a tervezők egyre kisebb repülő eszközök alkalmazásának problémáit képesek kiküszöbölni. Ennek köszönhetően a hobbi célú kisméretű repülőeszközök megjelenésétől kezdődően már a védelmi szféra számára is jelentős technikai megoldásokat biztosítanak a pilóta nélküli légi járművek fejlesztői. Eltörpültek a méretekből adódó problémák, megoldásra leltek a környezeti hatások kiküszöbölésének lehetőségei. A napjainkban használt kvadro-, hexa-, és oktokopterek már a modern technológia elemeivel vannak felvértezve. Nagyfelbontású fényképezőgépek, kamerák, érzékelők letapogatók, működtető szoftverek segítik a felhasználók munkáit. A repülőeszköz sok területen könnyíti meg a napi munkálatokat. Használják fényképészek, média ügynökségek, régészek, meteorológusok, katasztrófavédelem, rendőrség, biztonsági cégek és természetesen a katonai egységek is.

Elkerülhetetlen tehát, hogy a szállítmányozás területén is alkalmazásra kerüljenek a kisméretű pilóta nélküli légi járművek, de az, hogy eközben milyen veszélyeket rejt magában a technikai eszközzel végrehajtott szolgáltatás eddig nem vizsgálták. Sajnos, amíg az egyik oldalon megkönnyíti az emberek munkáját az oktokopter, addig a másik oldalon jelentős problémákat okoz és biztonsági kockázatot jelent. A robbanószerkezetek, házilagosan előállítható robbanóanyagok és az interneten fellelhető „szakácskönyvek”, melyek segítségével könnyedén lehet robbanószerkezeteket kialakítani, csak növelik az oktokopter szállítmányok célba juttatásának kockázati tényezőit.

A hatóságoknak tehát minden szempontot meg kell vizsgálni, a bűnös célú felhasználások kizárásának érdekében, mielőtt megadják az engedélyeket a több száz, esetenként több ezer oktokopter szállító eszközként történő alkalmazására. Mivel a védelmi feladatokra történő alkalmazások megfelelő tapasztalatokat biztosíthatnak, mindenképpen javasolom a próbaüzemek előtt az eszközök rendőrségi, katonai és egyéb védelmi szervezetek által történő vizsgálatának elvégzését.

Az oktokopter „tehát egy olyan technikai eszköz, mely megfelelő kialakítás mellett alkalmaz-



ható saját csapataink támogatására. Segítheti az improvizált robbanóeszközök elleni tevékenységet, de nem szabad elfelejteni, hogy rossz kezekben egy nagy hatékonysággal alkalmazható fegyverré válhat”. [1]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DARUKA Norbert: Kvadrokopter, mint lehetséges felderítő eszköz, avagy a repülő polip visszatért, Repüléstudományi Konferencia 2013 Szolnok; 2013 április 11., (megjelent a Repüléstudományi Közlemények On-line folyóirat XXV. évfolyam 2013/2. számában) HU ISSN 1789-770X
- [1] MARTON Csaba: Légi felderítés robotokkal; <http://www.zmne.hu/tanszekek/ehc/konferencia/april2001.html> (2013.02.16.)
- [2] MARTON Csaba: A pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazása elektronikai felderítési feladatokra; Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2000. XII.évf. 29.sz.
- [3] BUNKÓCZI S. - DUDÁS Z. Hogyan tovább: Pilótával vagy nélküle?, Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények; http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003_2/05_bunkoczi_dudas.pdf
- [4] Daruka Norbert: Bűnös célú/terror jellegű robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, különös tekintettel a tüzserész feladatok ellátására; doktori (PhD) értekezés, Nemzeti Közszerzési Egyetem 2013.
- [5] GÁCSER Zoltán: Napjaink katonai műveleteiben alkalmazott pilóta nélküli repülőeszközök, Fél évszázad forgószárnyakon a magyar katonai repülésben, Konferencia kiadvány (CD), ZMNE, Szolnok 2005. www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/gacser_zoltan.pdf (2013.02.16.)

Futaki Anna¹ – Szántó R. Erika² – Simon Sándor³

AZ UAV PIAC FŐBB BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐI⁴

A pilóta nélküli légi járművek sokféle feladatra alkalmasak, s egyre nő alkalmazhatóságuk köre. Ez az oka annak, hogy, mind az állami és mind a polgári piaci lehetőségeik bővülnek és egy új, még fejlődő piacot képviselnek. Az UAV-k esetében a katonai piac a domináns, ami természetes, hiszen, mint általában minden új technológia esetében a legelső alkalmazások, fejlesztések a katonai terület igényeihez igazodnak. Az egyéb, s főként a polgári alkalmazási területeken általában később jelennek meg, melynek egyik jelentős oka lehet a ráfordítások költsége. Ezen cikk célja feltárni azokat a szabályozási, biztonsági, gazdasági és technológiai tényezőket, melyek a piac lassú fejlődésében központi szerepet játszhatnak.

THE UAV MARKET'S MAJOR INFLUENCING FACTORS

The Unmanned Aerial Vehicles are suitable for wide variety of missions and the range of their applicability is increasing. This is the reason that is why both the government and the civil market opportunities have been expanding, and they represent a new and developing market. In the case of UAVs the military market is dominant, which is natural, because as usual for all new technologies, the first applications and developments adjust to military sphere's demands. In others, especially in civil applications they usually appear later, which one of the significant cause would be the cost of expenses. The objective of writing this article is to explore that regulatory, safety, economic and technological factors which could play a central role in the slow development of this market.

BEVEZETÉS

Annak ellenére, hogy hazánkban csak néhány évtizede folytatnak kutatásokat, fejlesztéseket pilóta nélküli légi járművekkel, azok pályafutása közel 100 éves múltra tekint vissza.” Napjainkra elérték azt a fejlettségi szintet, amikor bizonyos feladatok végrehajtásában hatékonyabban és biztonságosabban képesek tevékenykedni, mint a pilóta által vezetett repülőgépek. Mindezeket túl alkalmazásuk nem jár a személyzet egészségének és/vagy életének szükségtelen kockáztatásával, veszélyeztetésével”[23]. Az UAV-k felhasználása főként a repülések egyes speciális területein fokozódik. A katonai alkalmazásokon túl, az elmúlt években folyamatosan nő az igény a polgári, katasztrófavédelmi, térképészeti és egyéb hasonló területeken történő felhasználásokra.

A technológia még nagyon új és alapvetően új helyzetet teremt az, hogy a pilóta a földről irányítja. Számos olyan tényező, megoldandó probléma merülhet fel, amelyek a hagyományos légi járművek esetében már kialakultak, megoldódtak, vagy fel sem merültek. Robbanásszerű elterjedésük, mindennapi alkalmazásuk és piacuk gyors fejlődésének korlátozó tényezőit fel kell tárni és megoldást kell találni rájuk, a légiforgalom megzavarása, veszélyeztetése nélkül.

1 Közlekedésmérnök hallgató, BME, annafutaki11@gmail.com

2 Légiközlekedési piac- és cégfelügyelő, szanto.erika@nkh.gov.hu

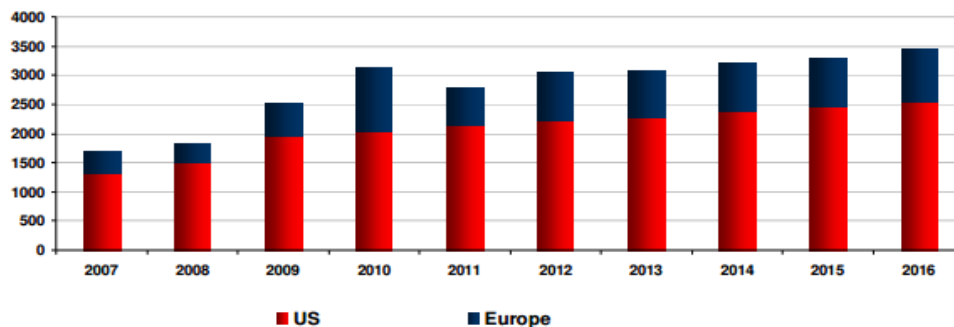
3 Hatósági mérnök, simon.sandor@nkh.gov.hu

4 Lektorálta: Dr. Palik Máttyás alezredes, tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztviselői Kar Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

Az UAV felhasználás döntő többségét jelenleg a katonai alkalmazások teszik ki. Ennek egyik oka, hogy az innovatív technológiák jelentős részét jellemzően – mint ahogyan az UAV-k is – elsőként a haditechnikában jelennek meg. A másik oka az, hogy e technológiák bevezetésének magas kezdeti költségeit csak viszonylag kevés tisztán polgári alkalmazás tudja kigazdálkodni. Ezzel szemben a katonai konfliktusokban szembenálló felek fenyegetettség, vagy béke időszakban, csupán presztízs okokból is a költségvetésük részeként a magasabb katonai potenciál biztosítása érdekében képesek azokat finanszírozni [2].

A katonai alkalmazás lehetőségei, a repülőgépek megjelenésével párhuzamosan gyakorlatilag azonnal megjelentek. A fejlesztések motorját számos esetben bizonyíthatóan a katonai igények kielégítése jelentette.

A katonai képességeknek, mint a külső védelmi feladatok alapvető elemének a fenntartása, fejlesztése az állam elsődleges feladatai közé tartozik [2].



1. ábra Kiadások katonai UAS-ra (Európában és USA-ban), 2007-2016 között [6]

Európa és az Egyesült Államok várható jövőbeli beruházásai az UAV beszerzésére a 1. ábra alapján összességében növekszenek. Az USA megtartja vezető pozícióját a piacon, sőt jelentősége egyre nő, különösen a katonai területen. Ez Európában kisebb eltérésekkel, de összegezve szintén növekvő tendenciát mutat. Mind az USA-ban, mind pedig Európában nagyobb ütemű növekedés tapasztalható 2010-ig, majd utána mind a két esetben ez a növekedés konszolidálódik.

A katonai piac jövőbeli méretének alakulása, mint általában az új technológiáknál, még nehezen előrejelezhető. Több ország hadserege rendelkezik már a technológia alkalmazására vonatkozó tapasztalatokkal, de az eszközök felhasználásának lehetséges területei várhatóan még bővülni fognak. A katonai tapasztalatok, igények megjelenítése a fejlesztésekben, várhatóan az UAV piac bővülésének irányába mutatnak. A piaci részesedés mértéke azonban, éppen a technológia sajátossága következtében, mivel drága technikai eszközök kiváltására készült, arányaiban csak hosszú távon válhat meghatározóvá.

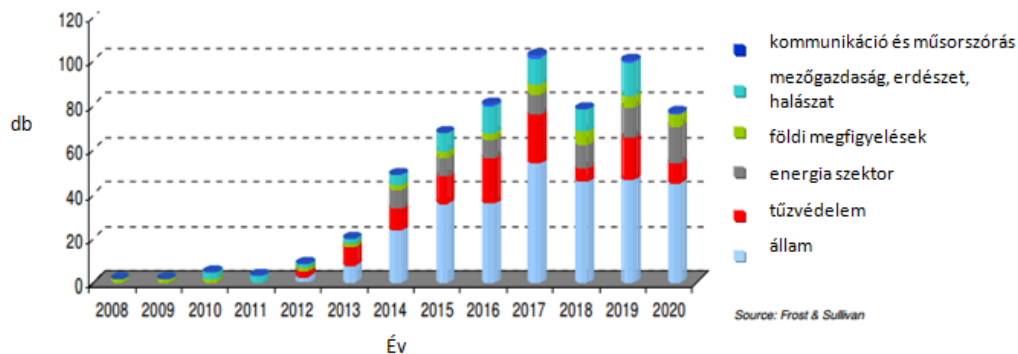
A pilóta nélküli légitűrművek fejlesztése és gyártása az egyik legkomolyabb ipari tevékenység az egész világon. Az iparág és fejlesztés kezdeti lépéseit az Amerikai Egyesült Államok és Izrael tette meg. Az USA után az izraeli és az európai fejlesztők, gyártók csak másodlagos szerepet játszhatnak az alacsonyabb mértékű fejlesztési befektetések miatt. Az elmaradásban az is közrejátszott, hogy az egyes kormányok előnyben részesítették az amerikai rendszereket

azok magasabb szintű képességei miatt. Napjainkban az UAV-kat leggyakrabban a katonai alkalmazásokkal társítják, azonban egyre inkább növekszik a polgári, állami szervek, a gazdasági élet által igényelt felhasználások száma is [4][5].

EGYÉB ÁLLAMI- ÉS KERESKEDELMI PIAC

A pilóta nélküli légi járművek jövőbeli térnyerése a szakértők szerint ma már kétségbevonhatatlan. Erre a személyzettel rendelkező repülőgépek fejlődése is párhuzamos példát mutathat [2][3].

A piac növekedésének egyik legnagyobb akadálya az ellenőrzött légtérben való működés. A legtöbb országban nincsenek előírások a polgári légiközlekedésben való üzemelésükre. A következő évtizedekben elsődleges feladat lesz, lehetővé tenni a „normalizált” UAV repüléseket, valamint törekedni az egységesített szabályozás létrehozására. A piacra szintén nagy hatással van az is, hogy a „Detect-Sense-and-Avoid” ütközés elkerülő rendszer technológia még nem elég fejlett [2][3].



2. ábra Az európai állami és kereskedelmi UAV piac, 2008–2020 [6]

A fentiek (lásd: 2. ábra) alapján látszik, hogy az egyes piaci lehetőségek nem egyszerre jelennek meg, de elterjedésük kétségbevonhatatlan. Az első alkalmazások között található a kommunikáció, műsorszórás és a földi megfigyelés. Szintén általánosan megállapítható, hogy az állami felhasználók az elsők között szerepelnek a polgári piacon. Az energiaiparban, a hivatkozott irodalom alapján Európa/világ szerte napjainkra várható megjelenésük.

Elterjedésüknek egyik legvalószínűbb kezdő pontja lehet a párhuzamos alkalmazás. Az első lehetőség az állami felhasználásokon belül (amely nem katonai) a rendvédelmi, *határőrizeti szféra*, ahol a követelmények és a feladatok meglehetősen hasonlóak. Ezek közé tartozik a parti- és határőrség őrzési feladatai, mint például a tengeri forgalom ellenőrzése, határőrzés és különböző belbiztonsági tevékenységek. Az USA, és Izrael már használja ezeken a területeken az UAV-kat. Azonban rövidtávon a rendőrségi helikopterek egyelőre még hatékonyabbak a közlekedési őrjáratok, a kutatás, mentés és az egészségügyi evakuálás során. Ezek a légi járművek még, sokkal inkább multifunkcionálisak és költséghatékonyabbak, mint az UAV-k, amelyek használata még túl kockázatos [3].

Egy másik potenciális terület a *katasztrófavédelem*, ami magában foglalja a tűzvédelmet, a polgári védelmet és az iparbiztonságot. Az USA-ban az erdészeti szolgálat már dolgozik ilyen eszközökkel. Rengeteg kísérlet, kutatás folyik világszerte a különféle alkalmazásokkal kapcsolatban [2][3].

Más szervezetek is lehetséges ügyfelek lehetnek, ha az UAV-k üzemeltetési költségei versenyképessé válnak a hagyományos gépek költségeivel. Ide tartozhat a *kábitószerszempészter, kábitószersztermesztés* felfedése. Ez a tevékenység szintén Dél- és Közép-Amerikában már működőképes [3].

Jelenleg az is valószínűtlen, hogy a következő évtizedekben jelentős piaci igények jelennének meg a pilóta nélküli légi eszközök iránt az állami és az önkormányzati alkalmazások terén, kivéve a katasztrófavédelmet [3].

Az első kereskedelmi tevékenységek közé tartozik a lízing és UAV szolgáltatás is. Felügyeleti és felmérési feladatokra a kormány, illetve ipari cégek saját UAV-k helyett inkább bérelnek. Ez azért is előnyös, mert az UAV-k beszerzése, a személyzet képzése és a rendszerüzemeltetés sokkal bonyolultabb és költségesebb. Ennek eredményeképp a szolgáltatási opció bizonyulhat a legnépszerűbbnek rövidtávon, míg a technológia megfelelő fejlettségi szintet el nem éri [3].

Polgári tudományos kutatások esetében is egyre nagyobb teret hódítanak, de ez sem képez jelentős volumenű kereskedelmi alkalmazást. Elképzelhető lehet a környezet monitorozás, időjárás-, légköri adatgyűjtés, óceángráfiai adatgyűjtés, mezőgazdasági megfigyelések és a mágneses, radioaktív anyagok feltérképezése nagy magasságból [3].

AZ UAV PIAC FŐBB BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐI

Az UAV-k légiforgalomba illesztése

A jelenlegi légiforgalom rendszerében a légiforgalmi irányítás nélkülözhetetlen a biztonságos légiközlekedés érdekében. Az irányítók feladata igen összetett és bonyolult, mely a közeljövőben még inkább fokozódik a várható forgalom növekedés okán [7].

Beillesztésük a légiközlekedésbe egyelőre nehézkes, hiszen új kihívást, és komplikált feladatot jelentenek a légiirányítók számára.

A

3. ábra mutatja, hogy milyen tényezők befolyásolják az UAV-k integrációját.



3. ábra Az UAV-k beilleszkedését befolyásoló tényezők [7]

Összefoglalva az UAV integráció elvei [1]:

- az UAV-nak biztonságosan és hatékonyan kell üzemelnie, valamint kompatibilisnek kell lennie a szolgáltatókkal és más légtérhasználókkal is, anélkül, hogy a biztonságot csökkentené;
- a pilóta nélküli légi jármű rendszerek akkor tudnak csatlakozni a nemzeti légtér rendszerhez (NAS), ha megfelelő felszereltséggel rendelkeznek és képesek megfelelni a különböző követelményeknek;
- a rendszeres UAS műveletekhez nem lesz szükség külön légtérre, vagy a meglévők módosítására;
- néhány speciális esetet kivéve, mint például a mini UAV, melyeknek nagyon kicsi a működési tartományuk, szükséges típus- és légi alkalmassági bizonyítvány a polgári műveletek végrehatásához;
- az UAV kezelőknek is rendelkezniük kell jogosítással, amely némileg eltér a hagyományos pilóták követelményrendszerétől;
- az UAS-nak eleget kell tennie az ATC utasításoknak, be kell tartania az eljárásokat, amikor a légiforgalmi szolgálat utasítja rá;
- az üzemelés ideje alatt az UAV kezelő felelős az UAV működéséért,
- operatív irányítási koncepció szükséges az UAS kereskedelmi műveletei során, mindig az adott művelet típusának megfelelően.

Egyre több fejlesztési program jön létre ezen légieszközök különböző műveleti alkalmazása érdekében. Mivel felhasználási lehetőségük szélesebb, mint a hagyományos pilóta által vezetett repülőgépeknek, ezért elterjedésükkel számolni kell, annak ellenére, hogy jelenleg még a fejlődés szakaszában vannak. Az erőfeszítések elsődleges célja, hogy képessé tegye az ATM (*Air Traffic Management – Légiforgalmi Szolgáltatás*) – rendszert, hogy biztonságos és szabályos légiközlekedést garantáljon az új körülmények között is [7].

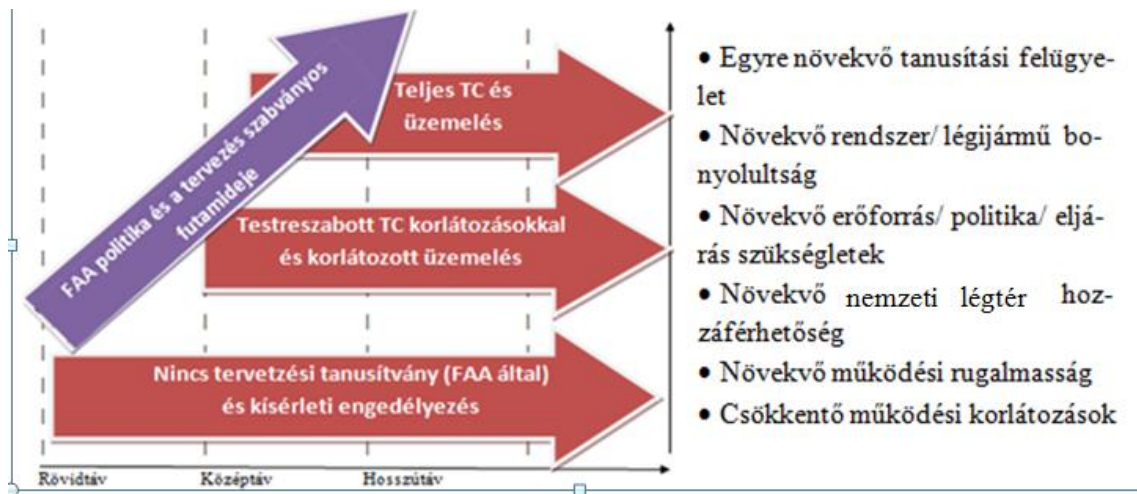
Két fő területet kell megvizsgálni annak érdekében, hogy az ATM-rendszer képes legyen megfelelően felkészülni a feladatra [7]:

- egységes követelmények létrehozása az UAV előírásoknak megfelelően;
- egységes előírások, szabványosítások, valamint olyan eljárások megteremtése, melyek segítik az UAV-k integrációját a légi irányítási rendszerbe.

A legmegfelelőbb, a típustervezési és légi alkalmassági jóváhagyások esetében a fokozatos megközelítése lenne. A következő lépéseket tartalmazhatná [1]:

- lehetővé kell tenni szigorú alkalmassági és működési korlátozások között a jelenlegi UAS-nak a működését ahhoz, hogy tapasztalatot lehessen gyűjteni üzemelésükről, és meg lehessen határozni megbízhatóságukat komolyan ellenőrzött körülmények között;
- a következőkben, a tervezési előírásokat és a szabványokat az egyes speciális alkalmazásokhoz és az adott működési környezethez kell igazítani. Lehetségessé válna a típusalkalmassági tanúsítványok (TC) és gyártási bizonyítványok kiadása az adott korlátozások dokumentálása mellett;
- végül meghatározhatók azok a típusalkalmassági szabványok, melyek magukba foglalják a redundanciát, a megbízhatóságot, és azokat a biztonsági feltételeket melyek nélkülözhetetlenek ahhoz, hogy a nemzetközi légiforgalomban repülhessenek, beleértve a problémamentes integrációt.

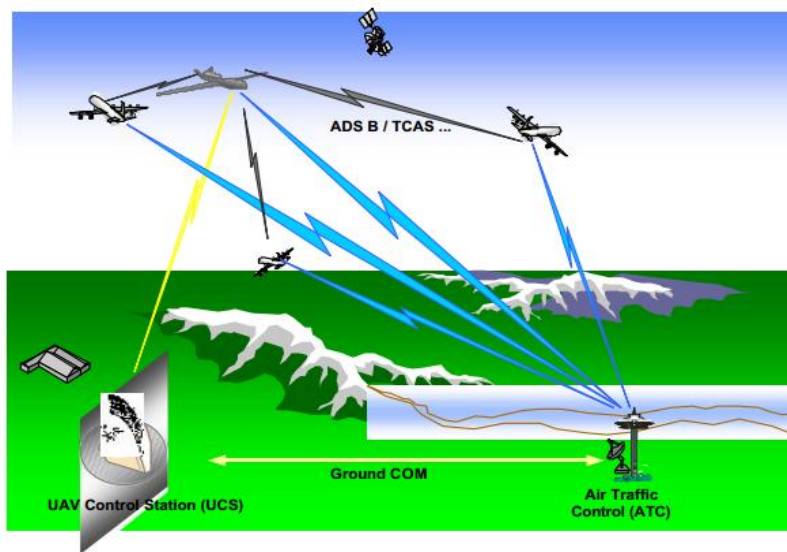
Az USA-ban az előzőekben bemutatott folyamatot a következő ábra szemlélteti.



4. ábra Légilakmassághoz vezető lehetséges folyamat [7]

A jövőben az UAV-knak a lehető legjobban meg kell felelnie az aktuális szabványoknak és előírásoknak, hogy minimálisra csökkentsék beillesztésük hatását [7].

A következő ábra az UAV lehetséges üzemelését mutatja az ATM környezetben.



5. ábra UAV lehetséges üzemelése az ATM környezetben [7]

Az integráció során nagyon fontos a műszaki megbízhatóság, a navigációs redundancia, és a repüléssíriányító-rendszerek. A megfelelő adatkapcsolat elengedhetetlen az UAV, annak földi állomása, valamint az ATC között. A légiforgalmi irányítás és az UAV földi állomása teszik lehetővé az UAV távoli irányítását és az ellenőrzött repülést az ellenőrzött légtérben. Az UAV szintén aktív szerepet tölt be az adatsere-hálózatban a többi légiforgalomban résztvevővel együttesen [7].

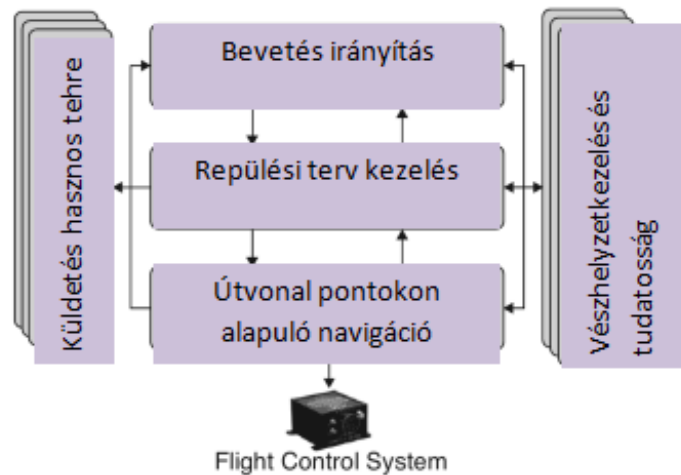
Technológiai kihívások

A jelenlegi UAV technológiák még nem elég fejlettek ahhoz, hogy megfeleljenek a jelenleg hatályos követelményeknek. Az UAS üzemelésének számos egyedi működési aspektusa van. Az anyagi tulajdonságok, szerkezeti, tervezési-, rendszer megbízhatósági szabványok és még

más egyéb, az alaptervezésre vonatkozó olyan minimum követelmények vannak, melyeket értékelni kell szemben a már meglévő repülőgépekre vonatkozó szabványokkal. Habár jelentősek a fejlesztések az UAS-t illetően, elengedhetetlen mélyre menően vizsgálni azt, hogy milyen hatásai lehetnek az UAS műveleteknek a nemzetközi légtérben való működés folyamán. Rövid- és középtávon, elsősorban a technológiai szükségletek kielégítésére kell helyezni a hangsúlyt a korszerűsítések során.[1].

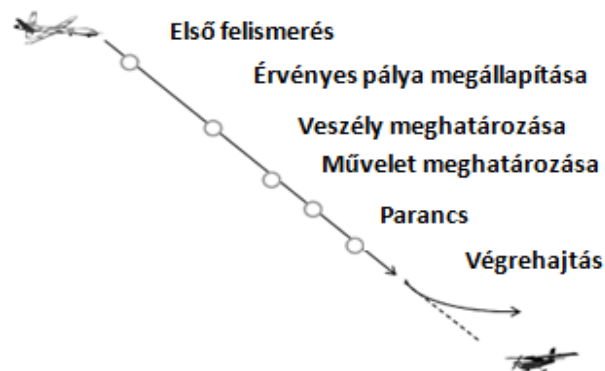
A Sense and Avoid rendszer

A jelenlegi pilóta nélküli rendszerek olyan keretrendszert adnak, amely lehetővé teszi a kívánt hardver és szoftver komponenseknek gyors fejlődését és integrációját, melyek nélkülözhetetlenek a széles körű polgári feladatokhoz. A keretrendszer olyan szolgáltatásokat tartalmaz (szoftver komponenseket), amelyek végrehajtják az elvárt funkciókat, s melyek szükségesek a legtöbb üzemelés során. Ide tartozik többek között például a repülési terv kezelése, és a vészhelyzet kezelés is (lásd: 6. ábra) [9].



6. ábra A fő UAV szolgáltatások rendszere [9]

Az egyik legfontosabb kérdéskör, amivel foglalkozni kell mikor pilóta nélküli rendszereket fejlesztünk, az a „Sense and Avoid”=SAA rendszer, azaz az érzékelni és elkerülni rendszer fejlesztése. Ez elengedhetetlen a nem elkülönített légiforgalomba illesztéshez.



7. ábra SAA egyes alfunkciói időrendben [10]

Az ábrán egy képzeletbeli idővonal látható az SAA rendszert illetően. A megfigyelő rendszer-

nek biztosítania kell a megfelelő érzékelési tartományt, ahol az esetleges fenyegetéseket és veszélyeket képes felismerni és a következő lépésekben képes időben elkerülni az ütközést [10].

Az UAV reakciójának olyannak kell lennie, hogy a konfliktusok minimálisan befolyásolják a küldetés kimenetét [9].

Manapság elég erősen az SAA problémák technikai megoldásaira helyeződött a hangsúly, de ahhoz, hogy ezek a megoldások hatékonyak legyenek, be kell illeszteni őket abba az architektúrába, amely kapcsolódik az UAS repülés és feladat végrehajtás egészéhez.

A taktikai és stratégiai problémák kezelése a következő táblázatban van összefoglalva.

	Taktikai	Stratégiai
Konfliktus-forrás	Repülőgép ütközés, Terep elkerülése	Időjárási körülmények, ATC korlátozások, előrelátható légi konfliktusok
Reakció	Közvetlen parancs az UAS kezelő felületnek és a gázkarnak	Repülési terv változtatás vagy egy alternatív útvonal választása

1. táblázat A taktikai és stratégiai problémák kezelése [9]

A két konfliktus típus a következő [9]:

- *taktikai konfliktus*: azonnali cselekvést, reagálást igényel;
- *stratégiai konfliktus*: előre meghatározott alternatív lehetőségek közül lehet választani.

Ahhoz, hogy megelőzzük a konfliktus helyzeteket, igyekeznünk kell az UAS viselkedését minél előreláthatóbbá tenni és ezeket az információkat továbbítani a légtér többi résztvevője számára [9].

Önálló képesség arra, hogy

- *felderítse* a légiforgalmat, az időjárást és akadályokat, amelyek konfliktushoz vezethetnek,
- *meghatározza* a repülés megfelelő módját,
- szabályok betartása mellett *hajtson végre* manővereket.

Az SAA esetében a két fő funkció a következő [9] [10]:

Self-Separation (SS)

Az a funkció, amely szabályos elkülönítést valósít meg, hogy elég távol maradjon a környező repülőgépektől, biztosítva a megfelelő időn belüli manőverezést, megelőzve az ütközésselkerülő manőver aktiválódását.

Az SAA rendszerek esetében a self-separation funkció más, mint a pilóta által vezetett repülőgépek esetében a “remain well clear” követelmény, egy sor mennyiségi értéket alkalmaz (pl.: idő, láb, mérföld), melyekkel számítások végezhetőek annak meghatározására, hogy ha veszély áll fenn, milyen manővereket kell végrehajtani. Ezeket az értékeket úgy kell kiválasztani, hogy lehetőleg mérséklődjenek a téves riasztások következtében végrehajtott felesleges manőverek.

Egy UAV és egy másik IFR repülést végző légi jármű találkozási esetén, az UAV nem használja az SS képességét csak akkor, ha az ATC engedélyezi annak használatát. Ha az SS aktív, akkor az UAV kezelőnek csak a légiforgalmi irányítás által engedélyezett határokon belül lehet végrehajtani manővereket, ha ebből csak az ő jóváhagyásával léphet ki.

A VFR repülések esetében az SS funkció biztosítja, fokozza az elkülönítés bizonyosságát. Annak érdekében, hogy a hagyományos repülőgépet vezető pilóták képesek legyenek észrevenni az UAV-eket, melyek közül jó néhányat nehéz meglátni, vagy kicsi a radarkeresztmetszete (RCS), az UAS-nek meg kell felelnie a szigorú és speciális repülőgép megvilágítási követelményeknek.

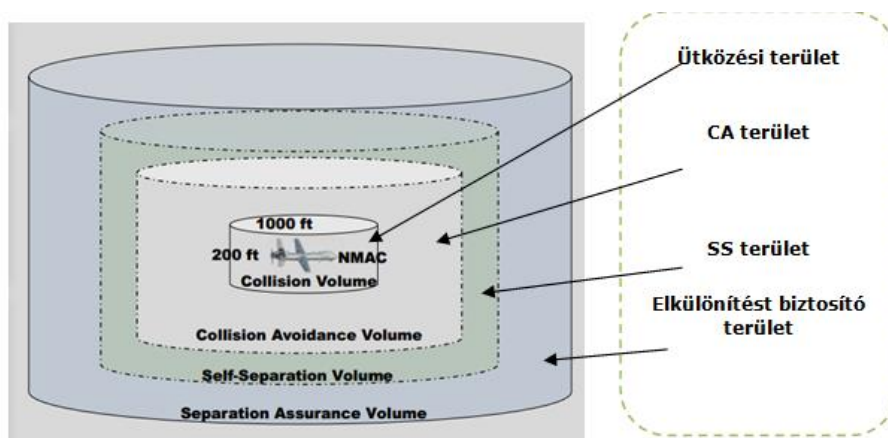
Collision Avoidance (CA)

Ez a funkció felelős azért, hogy az UAS a megfelelő cselekvést hajtsa végre, megelőzve az ütközési terület megsértését. Manőverezési tanácsokat ad annak elkerülése érdekében.

Ütközési helyzet esetében az UAS személyzet mindent megtesz annak érdekében, hogy megelőzze a másik repülőgéppel való ütközést. A manőverezés viszonylag rövid időn belül bekövetkezhet, ha az ütközés veszélye fennáll.

Az UAS kezelő felelőssége, hogy a CA funkció mindig aktív és működőképes legyen, ha nem teljesen működőképes, azonnal értesíteni kell az ATC-t. Az UAS CA rendszere teljesen összhangban van és kompatibilis a hagyományos repülőgépek ütközésselkerülő rendszerével.

E két funkció által hasonló képességek érhetők el, mint látásos körülmények között a hagyományos repülőgépek esetében. Az UAS integráció fontos eleme még a kezelő, aki képes úgy teljesíteni egy adott feladatot, hogy közben betartja az elkülönítési távolságokat. Azoknak a technológiáknak, melyek szolgáltatják ezeket a képességeket, be kell bizonyítaniuk, hogy legalább olyan hatékonyak, mint a személyzettel ellátott gépek, valamint képesek ugyanazt a biztonsági szintet garantálni [10].



8. ábra SAA funkciók aktiválódási területei [8]

Az ábrán láthatók az SAA rendszer egyes funkcióinak aktiválódási területe:

- az UAV ütközési terület, mely vízszintesen 200-, függőlegesen pedig 1000 láb távolság alapú határt jelent, fix küszöbértékekkel;
- a CA terület küszöbértéke változhat az idő, a távolság, a manőverezhetőség és egyéb paraméterek függvénye;
- az SS terület küszöbértéke hasonlóan az előzőekhez változhat;
- a legnagyobb, mindezeket magába foglaló terület az elkülönítést biztosító terület.

Az SS és CA funkciók szükségesek az UAV-k integrációjához, viszont ezeket a technológiákat be kell illeszteni az UA rendszer felépítésébe. Az SS és a CA rendszernek együtt kell

működni az UAS robotpilótájával és a repülési terv menedzserrel, hogy szavatolja a biztonságos repülést [1].

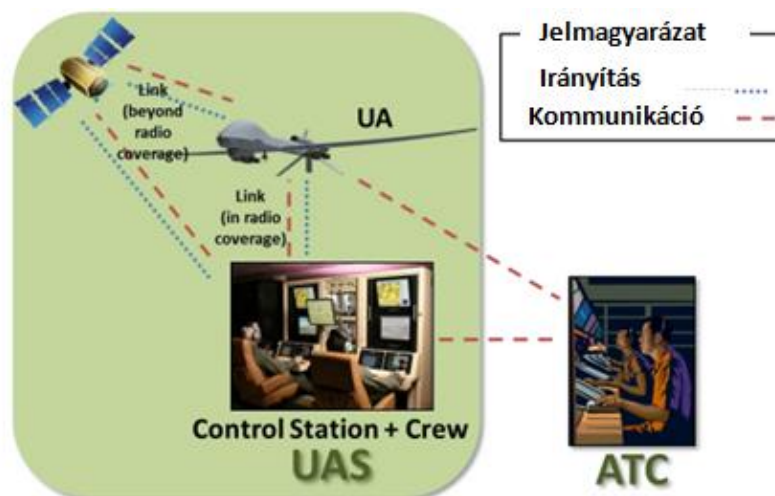
Az USAL⁵ (UAS Service Abstraction Layer), azaz az úgynevezett tudatosság kategóriájába tartoznak ezek a rendszerek, mely kategória felelős azért, hogy legyen a rendszernek „tudomása” arról, ami körülötte történik annak érdekében, hogy megfelelően reagáljon bármilyen észlelt konfliktus esetén [9].

Az USAL architektúra átfogó kapcsolatot teremt az UAS repülése, küldetés végrehajtása, hasznos terhe és a tudatossága között. Különös figyelmet kell szentelni a tudatosság kategóriára, melyben a ’tisztá’ SAA funkciókra, így az SS és CA fejlesztésekre [1].

Írányító és kommunikációs rendszerek (Control and Communication systems)

A Control and Communication (C2) kutatás fejlesztések fő célja a megfelelő C2 kapcsolat kifejlesztése a pilóta nélküli légi járművek és a földi irányító állomás között, támogatva az UAV-k megfelelő működését a légtérben, valamint azt, hogy az UAV pilóta képes legyen fenntartani a szükséges irányíthatósági szintet. A kísérletek által meg kell határozni az adatkapcsolati késleltetést, a rendelkezésre állást, az integritást, a folytonosságot, és egyéb teljesítménymutatókat [1].

Nemzetközi összehangolt rádiófrekvenciákra van szükség, mely védelmet biztosít a véletlen interferenciák ellen, hogy garantálja a megfelelő sáv szélességet illetve, hogy megkönnyítse az UAV-k működését a nemzetközi határokon keresztül [1].



9. ábra Irányítási és kommunikációs kapcsolatok [10]

Amint az ábrán is jól látható, irányítási és kommunikációs kapcsolatok szükségesek a biztonságos üzemelés érdekében. Irányítási kapcsolat áll fenn a földi állomás és a műhold között, illetve a műhold és a légi jármű között olyan esetekben, amikor a repülés a rádiós lefedettség túl zajlik. Rádiós lefedettségben belül a földi irányító állomás közvetlenül irányítja az UAV-t.

⁵ Minden előre meghatározott szolgáltatás alapja, rekonstruálható polgári küldetések esetére. Olyan szolgáltatásokat tartalmaz, melyeknek meg van határozva a funkciójuk és a kommunikációs alapjuk. Alapvetően könnyű és gyors lehetőséget kínál, mellyel költséghatékonyan lehet megoldani az újrafelhasználhatósági problémákat [22].

Az irányítási feladatokon túl a kommunikáció megvalósítása is nélkülözhetetlen. A kommunikációnak minden szereplő között meg kell valósulnia.

Hasznos teher (payload) kérdésköre

Az egyik legnagyobb költség a hasznos teher elhelyezése a légi eszköz fedélzetén, és/vagy beillesztése a légijárműbe, attól függően, hogy esetlegesen milyen átalakításokkal járhat annak integrálása. A payload kifejezés ezen esetben az egyes feladatok ellátásához szükséges, az UAV fedélzetén elhelyezett vagy beépített berendezéseket, illetve ezek működtetéséhez szükséges egyéb berendezéseket (pl.: video akkumulátor) és szoftvertelepítéseket jelenti. Ezek a berendezések lehetnek fedélzeti kamerák, fényképezőgépek, de akár fegyverek is, a repülés végrehajtása viszont ezek nélkül is lehetséges. A költségek csökkentése érdekében fejleszteni, dokumentálni, majd kivitelezni kell a hasznos teher szabványokat, az úgynevezett „plug & play”⁶ koncepciót támogatva. Ebbe a képességbe integrálni kell a különféle hasznos terheket olyan esetekben, ahol jellemző a gyors telepítés, a gyors fordulódő az egyes küldetések között, valamint változik az egyes küldetések hasznos teher igénye.

Az UAV-k fejlesztésével párhuzamosan szükség van a hasznos terhek fejlesztésére is, hiszen az egyes feladatok más és más felszereltséget követelnek. Az a képesség, hogy a teher akár önállóan kalibrálja magát, vagy egyszerűbben lehessen kalibrálni, mint jelenleg, csökkentené a költségeket és hatékonyabb feladat végrehajtást biztosíthatna [19][20].

Kezelő személyzet

Az UAV-k kezelőinek egy nagyon komplex követelményrendszernek kell megfelelniük, magas stressz tűrő képesség mellett. Képesnek kell lenniük a légijármű kormányzására/vezetésére, valamint együttműködni az irányító egységekkel, illetve kategóriától függően, a légiforgalom többi résztvevőjével. A légifelderítéshez szükséges UAV fedélzeti szenzorok hatékony alkalmazására, katonai esetben a harcászati helyzet felismerésére és gyors elemzésére, a függesztett fegyverrendszer használata. Nagyon lényeges a jó audiovizuális képesség, hiszen a feladat végrehajtás csupán hangok és képek alapján történik. A kezelők közötti kommunikáció létfontosságú, hiszen a szenzorok által online továbbított képi adatok alapján mérhető fel az adott helyzet, melynek függvényében szükségszerűen megvalósul az eszköz repülési útvonalának, repülés magasságának változtatása. Az UAV irányításához szükséges repülés-technikai-, és a szenzorok által sugárzott felderítői információk gyors feldolgozására vonatkozó készség is nélkülözhetetlen számukra [11][12].

Elsődleges kritérium az *ismeretanyag* megszerzése, elsajátítása. A különböző *készségekkel* való rendelkezés, illetve a motiváltság szintén elengedhetetlen. Az egyik az irányításhoz szükséges repülés-technikai és navigációs-, a másik a szenzorok alkalmazására és az általuk sugárzott felderítői információk gyors feldolgozására-, a harmadik pedig a földi és légi célok pusztítására szolgáló fegyverzeti berendezések kezelésére vonatkozó készség [11].

Az egyes személyek képességeit nem egyesével érdemes fejleszteni, hanem figyelembe véve

⁶ A számítógépes hálózati protokollok egy csoportja, amelynek célja, hogy különféle eszközök egyszerűen, külön konfiguráció nélkül csatlakoztathatók legyenek egy hálózathoz.

az együttműködési kompetenciát, a csapaton belüli egyének képességeit a csapattal összhangban tanácsos fejleszteni. Ebből az következik, hogy a kiképzési folyamatban szerepelnie kell a *csoportképzésnek* [13][14].

A személyi alkalmasság részét képezheti még az érzelmi rugalmasság és az *önismeret* fejlesztése is, a sikeresség érdekében. Ezeket nagyon gyorsan be kell építeni az UAV kezelők kiképzésébe. Az önismeret lényeges és kikerülhetetlen, mivel segít felismerni és leküzdeni az esetleges előítéleteket, amelyek, akarva-akaratlanul, szinte mindannyiunkban jelen vannak az „idegennel”, a „mással” szemben. Az elméleti képzéssel párhuzamosan a gyakorlati foglalkozásokon be kellene építeni olyan önismereti tesztek és szituációs gyakorlatokat, amelyek segítenék az UAV kezelőket saját előítéleteik felismerésében és kezelésében [22][14].

Hatékony képzési mód lehet a Cross-Training képzés, mely magába foglalja a résztvevők szakmai tudásának kiterjesztését, mások tudásának megismerését, és saját ismereteik közé való integrálását. Ezáltal lehetővé válik egy átfogóbb, integráltabb probléma megközelítés, amely lehetetlen lenne, ha a résztvevőket külön képeznénk [17][15].

A következőkben a pilóta nélküli légi eszközök kezelőszemélyzetét vizsgálom SWOT- analízis segítségével. Elsősorban a problémáikat, lehetőségeiket, illetve helyzetüket szeretném feltárni, tehát a műszaki feltételeket nem.

ERŐSSÉGEK	GYENGESÉGEK
kezelő személyzet élete nincs veszélyben, családhoz közel vannak, nem esnek ki a hétköznapokból, könnyű irányíthatóság, költséghatékonyság.	korlátozott érzékelési ingerek, pilóta kockázatmegítelő képessége változó, unalmas, hosszú műszakok, gyors kiégés.
LEHETŐSÉGEK	VESZÉLYEK
megfelelő számítógépes oktatás, többlépcsős kiképzés, emberi teljesítmény, jellegzetességek és a stressz adatok figyelembevétele, kiválogatási tematika kidolgozása.	kommunikációs problémák, nincs egységes szabályozás, felelősség érzet csökkenése.

2. táblázat UAV-k SWOT- elemzése a kezelő személyzet szempontjából [saját szerkesztés]

Erősségek

A kezelő élete nincs veszélyben

Az UAV-k egyik legfontosabb előnye, leginkább a katonai területen az, hogy a kezelő személyzet biztonságban, a veszélyzónától távol helyezkedik el, így nincs életveszélyben. Azonban ennek lehetnek negatív hatásai is, mivel a személyzet sorsa nem azonos a légi jármű sorsával, esetlegesen előfordulhat, hogy nem olyan felelősséggel jár el a feladat végrehajtása esetén, mintha a fedélzeten tartózkodna. Fontos a felelősség tudatosítása a pilótákban.

Családhoz közel vannak

A katonák egy-egy távoli bevetés alkalmával hosszú ideig kénytelenek elszakadni családjuktól, amely mindkét fél számára nagyon nehéz, és igen gyakori az elhidegülés. A MALE és HALE UAV-k esetén ez a probléma megoldódik, hiszen irányításuk távolról, az irányító állomásról történik. Ennek pozitív hatása azonban személyiségfüggő.

Nem esnek ki a hétköznapokból

Egy-egy katonai bevetés alkalmával életük megváltozik, fel kell venniük az ottani életformát. Az életformaváltás a civil repülőgépek személyzetének esetében is fennáll. Az UAV kezelő személyzetének helyzete azonban egészen más, mivel minden egyes nap visszatérhetnek hétköznapjaikba. Itt is szintén az előzőhöz hasonló problémák léphetnek fel, mégpedig a mindennapok stressze megmarad.

Könnyű irányíthatóság

Ebben az esetben elsősorban az autonóm UAV-kra kell gondolni, hiszen ezen eszközök képesek végrehajtani az előre beprogramozott utasításokat, az embernek tulajdonképpen csak ellenőrző funkciója van. Az autonóm rendszerek esetében érdemes előtérbe helyezni az ütközés elkerülő rendszereket, melyek elengedhetetlenek bonyolultabb feladatok végrehajtásánál. Nem kívánt helyzeteket idézhet azonban elő, ha a szoftver meghibásodik, hiszen ilyen esetekben a kezelő-személyzet beavatkozási lehetősége is nagymértékben korlátozódik.

Költséghatékonyság

A költséghatékonyság a személyzetet illetően azt jelenti, hogy a személyzet utaztatásával, külföldi elhelyezésével és a felszerelésükkel, öltözékükkel kapcsolatos költségek megspórolhatóak, mely szintén abból adódik, hogy a pilóta nem utazik együtt a járművel, hanem távolról irányítja azt. Azonban fel kell mérni a szimulátor berendezés telepítési, üzemeltetési és karbantartási költségeit, illetve az UAV-k és a hozzájuk kapcsolódó egyéb technikai eszközök költségvonatát, mert csak így lehet egyértelmű megállapítást tenni a költségeket illetően.

Gyengeségek

Korlátozott érzékelési ingerek

Vizuális funkció tekintetében még több kamera képéből és különböző érzékelők segítségével is nehéz összerakni a teljes látóteret, megállapítani a repülőgép állapotát, helyzetét. A szimulációban imitált körülmények valóságos megélése nagy segítség lehet az UAV pilóták számára, megtapasztalhatja, érezheti, hogy mikor, hogyan reagál egy repülőgép a valóságban.

Pilóta kockázatmegítélő képessége változó

A kockázatmegítélő képesség függ attól, hogy a pilóta mit érzékel. Alapvetően kevesebb inger éri, mint a hagyományos pilótákat, amely eleve nehezíti a helyzetet, de ez fokozódhat, ha bármilyen hiba, adatkéslekedés, minőségromlás következik be. Mindenképpen olyan hardver és szoftver kidolgozása ajánlott, amely esetleges meghibásodások esetén is működőképes, az adatokat, időben és megfelelő minőségben szolgáltatja, erre már a tervezéskor törekedni kell.

Unalmas, hosszú műszakok

Egy nagyon fontos probléma lehet az unalmasság, a megfigyeléseket gyakran folyamatosan éjjel-nappal kell végezni. Az ilyen unalmas, megfigyelési munkák esetén lehet, hogy érdekesebb lenne rövidebb műszakokat alkalmazni, valamint az optimális személyzetet kiválogatni. Az éberség fenntartható a váratlan helyzetek véletlenszerű előidézésével, valamint alkalmat adhat a személyzet alkalmasságának tesztelésére.

Gyors kiégés

A munka rendkívül időigényes, valamint a pilóták a képzésen elsajátítottakat nem tudják kihasználni és nincs szakmai fejlődési lehetőség sem. Harmad annyi idő alatt kiégnek az monoton megfigyeléseket végző UAV kezelők, mint a hagyományos pilóták [15].

Lehetőségek

Megfelelő számítógépes oktatás, többlépcsős kiképzés

Mivel az UAV-k irányítása legtöbbször monitorok előtt történik, kiképzésre szimulátor lehet a legalkalmasabb, mely a valós munkakörülményeknek megfelelően van elrendezve. Ezáltal a személyzet kommunikációja, közös problémamegoldása is adott.

Emberi teljesítmény, jellegzetességek és a stressz adatok figyelembevétele

Az üzemelés során a személyzetnek kifogástalanul kell teljesítenie, melyhez feltétlenül szükséges a megfelelő pszichikai állapot, alaptulajdonságok, alkalmasság és az éppen elvárt képességek megléte. Ahol szükséges, a stressztűrő képesség fejlesztését be kell építeni a képzésekbe.

Kiválogatási tematika kidolgozása

A probléma megoldása többlépcsős kiképzést igényel, viszont a kiképzést megelőzve egy kiválogatási rendszert is ki kell dolgozni. Az érzékszervek és az agyi kapacitás ilyen mértékű leterheltsége miatt nem mindenki alkalmas az UAV irányítására [18].

Az egyes UAV típusok kezelésére nem feltétlenül ugyanazon kompetenciák szükségesek, így az egyes típusokhoz más-más képességekkel rendelkező személyzetet kell kiválogatni, majd kiképezni.

Veszélyek

Kommunikációs problémák

- **A helyzeti tudatosság gyengülése** a kezelőknek ismerniük kell a biztonságos repülés feltételeit, szabályait és minden pillanatban ismerniük kell az UAV pozícióját, helyzetét, repülési paramétereit és lehetőségeit. Ennek hiányában könnyen elveszíthetik az irányítást az UAV felett, „eltévedhetnek”, vagy olyan manőver végrehajtására készítetik az UAV-t, mely következtében szerkezeti károsodást szenved [36].
- **Időbeli eltérések** Óriási veszélyeket rejthet magában, ha az adatok nem a megfelelő időben érkeznek, hiszen akkor nem valósulhat meg a valós idejű irányítás, navigálás, melynek következménye akár katasztrófa is lehet.
- **Adatminőség** Az adatok késésén kívül félrevezetést jelenthet még a rossz minőségű adatok fogadása, melynek következménye akár végzetes döntés is lehet. Olyan biztonságos adatkapcsolati mód szükséges, amely kielégíti az igényeket.

Nincs egységes szabályozás

Míg a hagyományos pilóták meghatározott jogszabályi háttérrel, felelősséggel rendelkeznek, az UAV kezelő személyzet helyzete bizonytalan, a szabályozás hiányos, a felelősség nincs megfelelően körülhatárolva.

Felelősségérzet csökkenése

Sokakban felmerül a kétely az iránt, hogy annak ellenére, hogy az UAV személyzet sorsa nem egyezik az általa irányított járművével, ugyanolyan felelősséggel cselekszik-e. Mindenképpen meg kell vizsgálni a személyzet hozzáállását az új helyzethez és tudatosítani kell velük esetleges tetteik következményeit.

Rendszeres költségek [19]

Az UAV rendszeres költségei arányosak az UAV által repült órák számával.

Közvetlen költségek

Azok a fogyóeszközök, melyek egy-egy repülés során elhasználódnak, rendszerint az üzemanyag, az akkumulátor és az olaj. A rendszeres karbantartási költségek szintén ide sorolhatóak, hiszen nagyban összefüggnek a repült órák számával. Ebbe a kategóriába tartoznak a földi kiszolgálások költségei is. A fedélzeti intelligencia fokozásával kevesebb földi kiszolgáló egység szükséges, s ez által segíthet a közvetlen költségek csökkentésében.

Biztosítás

Egy másik igen jelentős költség az üzemelés során a biztosítás költsége. A költség nagysága attól függ, hogy a biztosító mekkora kockázatot feltételez és a biztosítást kötött ügyfelek számától az adott kockázatot illetően. A biztosítási költségek csökkentésének a módja, hogy növeljük a biztonságot és a megbízhatóságot, valamint, ha nő az UAV üzemeltetők száma. Ha az UAV műveleti költségei csökkennek, akkor várhatóan nőni fog az üzemeltetők száma.

Kommunikációs költségek

Minden repült óra kommunikációs költségekkel jár. A költségek igen eltérőek lehetnek a küldetés által igényelt sáv szélesség nagyságának függvényében. A költségek az UAV és a hasznos teher irányításához szükséges sáv szélesség korlátozásával csökkenthetőek. Ebben az esetben szélessávú adatokat kellene tárolni a fedélzeten.

Adatelemzési költségek

Az adatok elemzésének is olyan költség, amely arányos a repült órák számával.

Általános vélekedés a felhasználók között, hogy az UAV-k működtetése, üzemeltetése drága. Ezt a felfogás különösen indokolt, a nagyobb UAV-k esetében, melyeket csak nagyobb befektetés által lehet beszerezni, és jelentős személyzet szükséges a telepítéshez és a működtetéséhez (ez magas költségeket jelent óránként). Ezt úgy lehetne mérsékelni, hogy az UAV repülés technikai és a szabályozási akadályait kiküszöböljük. Ezért fejleszteni kell ezeket a területeket, amely pozitív hatással lesz a piac fejlődésére.

A másik fontos tényező a költségek csökkentését illetően a biztonság és a megbízhatóság növelése. A biztonság itt vonatkozik a lakosság biztonságára és maga a platform biztonságára is. A lakosságot érintő UAV balesetek fokozott szabályozást, növekvő költségeket és egyes szállítók, illetve felhasználók kizárását eredményeznék. Azonban még azoknak az UAV-knak az elvesztése is magas költséggel jár a használatnak, amely lakatlan területen veszett el, s nem csak a járművet, de a rajta lévő értékes terheket, szenzorokat is elveszítik.

Összefoglalva a piac lassú fejlődésének okai a következők [3][19]:

- légtérbe integrálás, légtér szabályozás problémái;
- költségvonat;
- hasznos teher;
- kezelőszemélyzet megfelelő képzése;
- technológiai hiányosságok;
- fogyasztói megítélés/felismerés;
- rendelkezésre állnak alternatív eszközök, nevezetesen a pilóták által vezetett repülőgépek.

ÖSSZEFOGLALÁS

A technika fejlődésével az ember egyre inkább háttérbe szorul és helyét automatizált rendszerek, robotok veszik át, s csupán ellenőrzésre korlátozódik a feladata, amely azonban mégis létfontosságú. A pilóta nélküli légi járművek térhódítása világszerte érezhető, minden ország igyekszik fejleszteni, beszerezni UAV-kat. A projektek hatalmas pénzforrásokat emésztnek fel, viszont ezek a beruházások megtérülhetnek a későbbiekben, hiszen számos helyzetben (pl.: katonai felderítés és küldetésteljesítés, katasztrófavédelmi feladatok, mint például erdőtüzek felmérése, ipari alkalmazások, mint például hidak állapotának felmérése és még sok más) előnyösebbek lehetnek a hagyományos gépeknél, míg a fajlagos, azaz egységre vonatkoztatott gyártási- és üzemeltetési költségeik általában alacsonyabbak, habár van jónéhány kivétel is. Egységes szabályozással, szabványosítással, a „Sense and Avoid” rendszerek, a kommunikációs kapcsolatok, illetve a hasznos terhek, érzékelők fejlesztésével, az optimális kezelő személyzet kiválogatásával és képzésével, a megfelelő gazdasági és környezeti feltételek mellett az UAV-k integrációja és piaci elterjedése megvalósíthatóvá válik.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap, First Edition 2013, (online) url: http://www.faa.gov/about/initiatives/uas/media/uas_roadmap_2013.pdf (2014.03.03)
- [2] DR. RESTÁS ÁGOSTON. Az UAV katonai alkalmazásának transzfere a polgári alkalmazás felé: katasztrófavédelmi alkalmazások. Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia 2013, XXV. évfolyam, 2013. 2. szám (online) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-47-Restas_Agoston.pdf (2013.12.13)
- [3] TEAL GROUP CORPORATION. World Unmanned Aerial Vehicle Systems, Market Profile and Forecast, 2012 Edition (Légügyi Hivatal által rendelkezésre bocsátott) (2013.12.05)
- [4] BOTTA ANDRÁS. A magyar fejlesztésű felderítő UAV-k technikai adatainak, felhasználásának elemzése. Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia 2013, XXV. évfolyam, 2013. 2. szám (online) url http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-60-Botta_Andras.pdf (2013.12.14)
- [5] http://www.hmei.hu/ingatlan-uzemeltetes_egyebszolgaltatasok_meteor.html (2013.11.21)
- [6] EUROPEAN COMMISSION, ENTERPRISE AND INDUSTRY DIRECTORATE-GENERAL, Study analysing the current activities in the field of UAV. ENTR/2007/065 (online) url: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/security/files/uav_study_element_2_en.pdf (2013.12.05)
- [7] INDUSTRIEANLAGEN-BETRIEBSGESELLSCHAFT MBH, Care Innovative Action Preliminary Study on Integration of Unmanned Aerial Vehicles into Future Air Traffic Management, Version 1.1. Dept. Airborne Air Defence, Einsteinstr. 20, D-85521 Ottobrunn, 2001.december.07. (online) url: <https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/documents/projects/CARE/iabg-finalreport.pdf> (2013.12.17)

- [8] MR. JOHN WALKER ON BEHALF OF MR. CHUCK JOHNSON MANAGER, UAS INTEGRATION IN THE NAS PROJECT, Unmanned Aircraft Systems (UAS) Integration in the National Airspace System (NAS) Project, ICAO Regional Unmanned Aircraft Seminar, Lima, Peru April 18-20, 2012 (online) url: http://uvs-info.com/phocadownload/02_1cda_Presentations_PvB_____/07_Walker-John_PadinaGroup_USA_For-NASA_Presentation.pdf (2014. 03.05)
- [9] PLAMEN ANGELOV, Sense and avoid in UAS: Research and Applications. ISBN: 978-1-119-96784-2, Wiley, 2012. march (online) url: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1119967848.html>
- [10] MARGARET GILLIGARJ, ASSOCIATE ADMIMSTRATOR FOR AVIATION SAFETY, J. DAVID GRIZZLE, CHIEF OPERATING OFFICER FOR AIR TRAFFIC ORGANIZATION, VICTORIA H. COX, ASSISTANT ADMINISTRATOR FOR NEXTGEN, Integration of Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System : Concept of Operations, V2.0. Federal Aviation Administration, 2012. szeptember 28 (online) url: <http://www.suasnews.com/wp-content/uploads/2012/10/FAA-UAS-Conops-Version-2-0-1.pdf> (2014.03.05)
- [11] BALI TAMÁS. A szimulátorok alkalmazási lehetőségei az UAV személyzet gyakorlati képzésében. Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia 2013, XXV. évfolyam, 2013. 2. szám (online) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-56-Bali_Tamas.pdf (2013.12.11)
- [12] <http://www.nbcnews.com/technology/drone-pilot-burnout-triggers-call-recruiting-overhaul-1C9910483> (online) (2013.11.17)
- [13] MUHAMMAD ASIM, DR NADEEM EHSAN, KHALID RAFIQUE. Probable causal factors in UAV accidents based on human factor analysis and classification system. 27th International Congress of the Aeronautical Sciences, 2010.(online) url: http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/492.PDF (2013.12.14)
- [14] SÁPI LAJOS ZOLTÁN. A magyar katonai UAV kezelők kompetenciái. Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia 2013, XXV. évfolyam, 2013. 2. szám (online) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-19-Sapi_Lajos.pdf (2013.12.05)
- [15] DANIEL LUEDEMANN, GUY GOUARDÈRES, YON DOURISBOURE, ERIC GOUARDÈRES. Assessment in Team Training for UAV Operators. First International Conference on Humans Operating Unmanned systems, 2008. szeptember 3-4, (online) url: <https://conferences.telecom-bretagne.eu/data/humous08/proceedings/08-luedemann08humous.pdf> (2013. 12.11)
- [16] MICHAEL J. BARNES, BEVERLY G. KNAPP, BARRY W. TILLMAN, BRETT A. WALTERS, DARLENE VELICKI. Crew Systems Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Future Job and Tasking Environments. ARL-TR-2081, 2000. január
- [17] SOLENN LACHÈZE - VINCENT FERRARI. Acquiring team-level performance for UAS mission. 27th International Congress of the Aeronautical Sciences, 2010.(online) url: http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2010/PAPERS/266.PDF (2013.11.19)
- [18] DOMJÁN KÁROLY. Az UAV operátorok kiválogatásának és kiképzésének lehetőségei, mobil szimulátor konzolokkal. Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia 2013, XXV. évfolyam, 2013. 2. szám (online) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-24-Domjan_Karoly.pdf (2013. 12.14)
- [19] TIMOTHY H. COX NASA CHRISTOPHER J. NAGY NASA MARK A. SKOOG NASA IVAN A. SOMERS CSM, INC. Civil UAV Capability Assessment, Draft version 2004. december (online) url: http://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/111761main_UAV_Capabilities_Assessment.pdf (2014. 03.04)
- [20] ADLINK TECHNOLOGY INC. UAV payload Computing. (online) url: http://www.adlinktech.com/military_aerospace/UAV_PAYLOAD_COMPUTING.php?source= (2014.03.06)
- [21] PABLO ROYO, JUAN LÓPEZ, CRISTINA BARRADO AND ENRIC PASTOR Service Abstraction Layer for UAV Flexible Application Development American. Institute of Aeronautics and Astronautics (online) url: http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/9358/1/Royo_AIAA08.pdf (2014.03.05)
- [22] HONVÉDSÉGI SZEMLE Kis sebességű légi célok elfogása. 65. évfolyam 4. sz. 2011. július, (online) url: http://ekonyvtar.zrinyimedia.hu/container/files/attachments/27397/honvedsegi_szemle_2011_julius.pdf (2014.03.18)
- [23] DR. PALIK MÁTYÁS A pilóta nélküli légijárművek hazai szabályozói környezete fejlesztésére irányuló k+f projekt bemutatása (online) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/37_Palik_Matyas.pdf (2014.04.01)

Bera József¹ – Pokorádi László²

LÉGIKÖZLEKEDÉS KÖRNYEZETBIZTONSÁGI FOGALOMRENDSZERE³

A humán eredetű hatások az eredeti környezeti állapot megváltoztatásával járnak, így a gazdasági folyamatok és az emberi tevékenységek részeként gondoskodni kell arról is, hogy a környezetterhelés a legkisebb vagy még elfogadható mértékű legyen. Az emberi tevékenységek minden esetben összetett rendszert alkotnak, számos, egymástól független, de ugyanakkor egymással összefüggésben lévő hatással. A környezetben generált válaszok és reakciók is változó jelleget mutatnak. Mindkét eset fő jellemzője az időben eltérő hatásmechanizmus, ami a rendszer és környezete kapcsolódási pontjait, illetve a rendszerhatárokat is módosítja. Erre vonatkozó vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a környezeti hatások szoros összefüggésben vannak a biztonság bizonytalanságával, ami előtérbe helyezi a környezetbiztonság kérdését.

IDEOLOGY OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF AVIATION

Effects made by humans change the original environmental status. Therefore we must pay attention to – as part of the economic processes and human activities – acquiring the least or acceptable environmental load. Every time human activity constitutes a complex system, with several unrelated though interrelated influences. The responses and reactions created in the environment show a varying nature. The main characteristic feature of both cases is the different mechanism of influence in time that modifies the connecting points of system and its environment and also the system frontiers. During our referring surveys we stated that the environmental effects are in close connections with the uncertainty of safety which focusing to the problem of environmental safety as well.

1. BEVEZETÉS

A környezetterhelés és a környezet védelme közötti ellentét kiéleződéséhez a világban zajló társadalmi folyamatok mellett az ember rendelkezésére álló technológiák és technikai eszközök elterjedt használata is nagyban hozzájárul. A kialakuló környezeti hatásfolyamatok ellenére a gazdaság működtetése és a közlekedési eszközök alkalmazása alapvető napjainkban, ezzel együtt biztonságérzetünk egyik meghatározó elemévé is vált. A felgyorsult közlekedéssel, ezen belül a közlekedés egyik meghatározó ágazatának tekintett légi közlekedéssel kapcsolatos feltételek biztosításához ugyanakkor olyan műszaki folyamatok fenntartása szükséges, melyek környezetre gyakorolt hatását mind a természetes környezet, mind az emberek egészsége miatt folyamatosan kezelni kell. Elsődleges cél, hogy ne alakulhasson ki környezetszennyezés vagy környezetkárosítás [1], de az időszakos és a kisebb mértékű állapotváltozás is megfelelő, sok esetben gyors beavatkozást igényel. Ezek az intézkedések esetünkben a repülési tevékenység esetleges korlátozása vagy a felmerülő költségek miatt nem mutathatnak túl a szükséges határokon.

Kutatásaink során ezért olyan értékelési módszer kidolgozását fogalmaztuk meg, ami komplex

¹ PhD hallgató, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, berajo@kabelnet.hu

² Egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

³ Lektorálta: Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár, NKE, ovari.gyula@uni-nke.hu

módon képes választ adni a légiközlekedés környezeti hatásaival kapcsolatos, az érintett területen élők biztonságérzetére is kihatással lévő környezetbiztonság kérdéseire. Mivel elhatározásunk, hogy a biztonságtudomány keretein belül vizsgáljuk a környezeti hatásokat, illetve azt, hogy több eltérő hatás együttesen mekkora bizonytalanságot okoz a környezet állapotában, szükségesnek tartjuk a határérték-hatásterület eljárás helyett más módszer alkalmazását. Egy olyan értékelési módszer alkalmazásában látjuk a megoldást, ami figyelembe veszi, hogy az észlelt állapotváltozás mennyiben folyamatos, időszakos vagy szakaszos, kialakulnak-e ismétlődő periódusok, a hatás műszaki szempontból mennyire kezelhető, ugyanakkor az eltérő jellemzőkkel bemutatott hatásokat együttesen képes kezelni.

Az új értékelési módszer szükségességét támasztja alá továbbá, hogy a környezetterhelés mértéke nagyban függ a környezet jellemezőitől és adottságaitól, melyek a folyamat során visszahatnak a kibocsátó forrásra. A környezeti hatással kapcsolatos megállapításokat szükségesnek látjuk kiterjeszteni abban a vonatkozásban is, hogy a légiközlekedés miatt a környezetben kialakuló változás tartós, vagy időben csökkenő lesz, esetleg megszűnik, és később nem kell vele számolni. Egy új értékelési módszer kidolgozásához azonban szükséges a légiközlekedés környezetbiztonsági fogalomrendszerének átdolgozása, a hatások jelentőségével és a járulékos környezetterheléssel összefüggő tényezők leírásához használt fogalmak rögzítése, illetve tartalmi bővítése. Ezzel kapcsolatos eredményeinket és megállapításainkat foglaltuk össze az alábbi tanulmányban.

2. A LÉGIKÖZLEKEDÉS KÖRNYEZETVÉDELME

A légiközlekedés és a repülőterek üzemeltetése az emberektől környezetvédelmi szempontból többnyire negatív megítélést kap annak ellenére, hogy a repüléssel szemben széles körben megfogalmazott globális és társadalmi igényt fogalmazzunk meg. Mielőtt környezetvédelmi szempontból boncolgatnánk a légiközlekedést, az alábbi ténymegállapítást tesszük: a legtöbben nem ott vagyunk, ahol lenni akarunk, ezért folyton utazgatunk, egyre nagyobb távolságot szeretnénk áthidalni a lehető legrövidebb idő alatt, ami ma már nem lehetséges a repülés nélkül.

A közlekedéstől – természetesen a légi-, közúti-, vasúti- és vízi közlekedést együttesen tekintve – származó környezetterhelés jelentősége abban rejlik, hogy a környezet alapállapota tartósan vagy véglegesen változik meg az érintett területen, ez a változás kisebb-nagyobb mértékű az adott helyzet függvényében. Van olyan speciális helyzet, amikor két fontos szempont kiemelt szerepet kap egy közlekedési módozat értékelésénél:

1. a rövidebb idejű és megszűnő hatás kisebb eredő környezetterhelést jelent;
2. a környezet állapotában várható-e maradandó, ismétlődő változás, vagy az állapotjellemzők visszaállnak az eredeti értékekre?

Ezek a kérdések főként azokban az esetekben válnak jelentőssé, amikor egy szállítást speciális körülmények között kell megoldani, nagy tömegű egységeket beemelése és mozgatása a feladat, árut vagy személyeket kell rövid idő alatt nagy távolságra eljuttatni, esetleg nem áll rendelkezésre hagyományos szárazföldi vagy vízi közlekedési létesítmény egy adott feladat elvégzéséhez. Emellett a légiközlekedésben kiemelt jelentőséget kap a kiképzési repülés, ami szintén a biztonság kérdéskörét érinti, valamint a szabadidős vagy bemutató repülési tevékenység.

Amennyiben a speciális helyzeteket nézzük, a légitözlekedés előnyeit is érdemes megemlíteni a többi közlekedési ágazattal összehasonlítva. Így például a területfoglalás mértéke elmarad a közutak vagy a vasút helyszükséglete mellett, rövid idő alatt nagy távolságok áthidalását teszi lehetővé, a jelentősebb környezeti hatás többnyire a repülőterek környezetére terjed ki, a földtani közeg terhelése csak a repülőtér területét érinti. Létezik olyan helyzet, amikor a szállításra vagy a feladat végrehajtására a repülés lehet az egyedüli alternatíva [2], de a természetvédelmi területekre való időszakos berepülés is kisebb beavatkozást jelent a szárazföldi vagy vízi közlekedési eszközök alkalmazásánál olyan körülmények között, mint árvíz idején, szünyoggyérítéskor, katasztrófavédelmi feladatok ellátásakor, vezetékek ellenőrzésekor.

Számos példa mutatja [2], hogy a környezetvédelemben kompromisszumok sorozatával lehetséges a problémamegoldás. Nevezzük ezt *kompromisszum feltételnek*, ami egyaránt érvényes a környezethasználat egészére és a kialakuló környezetterhelés csökkentésére, de vonatkozik az üzemeltetési folyamatokra és létesítmények fejlesztésére. Ezért ma már a követelményrendszer meghatározó tényezőjének kell tekinteni. Ha nem vizsgáljuk kellő alaposítással a környezetterhelést okozó folyamatok és a környezet kapcsolódási pontjait és hatásmechanizmusát, akkor környezetvédelmi követelményeket is felesleges előírni.

A kompromisszum feltétel teljesülését a légitözlekedés környezetvédelmi problémamegoldásához szükségesnek tartjuk. A kompromisszumos helyzet kialakítása ugyanis olyan döntést vagy döntéssorozatot jelent, ami sok esetben önfenntartó rendszerként képes kezelni a környezeti biztonságot és a kockázatot, valamint az ezekhez kapcsolódó bizonytalanságokat.

A helytelen, az alábecsült vagy a túlzott környezeti hatás feltételezése számos következménnyel jár, amit a légitözlekedésből eredő környezetterheléssel kapcsolatban eltérő okok miatt, de hibának tekintünk [3]. Ezért a bizonytalanság csökkentése és a kockázatkezelés is mindinkább kötődik a repüléssel és a repülőtér üzemeltetési folyamatokkal összefüggő környezetvédelmi kérdésekhez. Egy olyan értékelési módszer, ami a légitözlekedés környezetvédelmét komplex módon képes kezelni, a jelenleg használt vizsgálati mérőszámok – például a zajterhelési mutatószámok tekintetében az L_{Aeq} egyenértékű zajszint, L_{AX} zajeseményszint vagy $L_{AM, re}$ megítélési zajterhelés – mellett további mutatók bevezetését igényli. Ehhez először át kell tekintenünk a repüléssel összefüggésben jelentkező környezeti hatások rendszerét, a megítélésük és értékelésük jellemzőit.

2.1. Környezeti hatások áttekintése

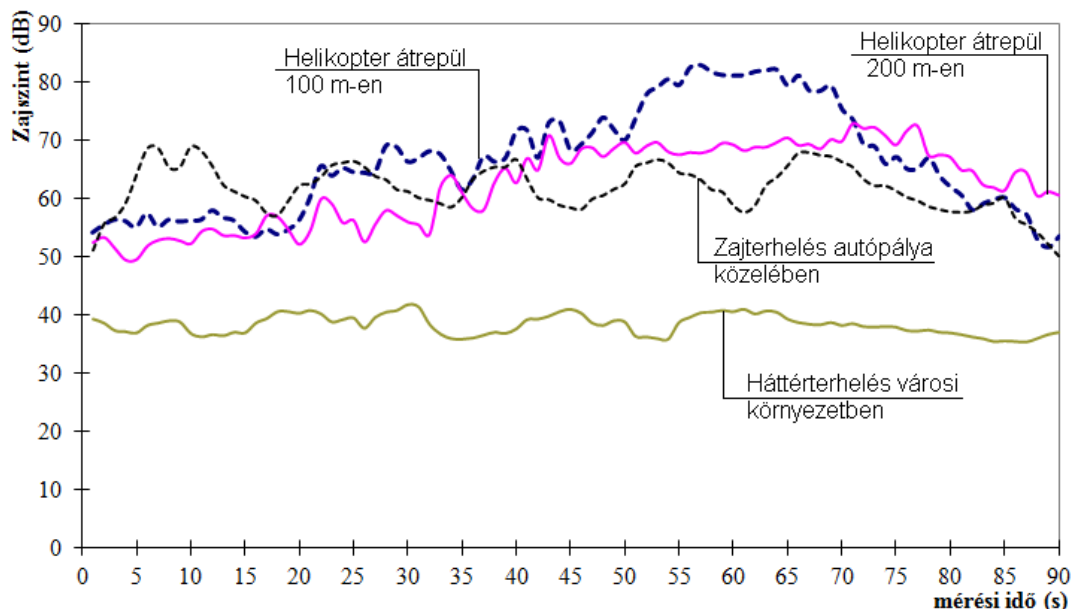
Napjainkban kétféle szempontrendszer érvényesül a környezeti hatásokkal kapcsolatos értékelési és döntési folyamatokban, így ezt a szemléletet követve határoztuk meg korábbi tanulmányunkban [3] az alábbi értékelési szinteket:

- emberi megítélésen alapuló értékelési szint;
- természetes környezet érdekein alapuló értékelési szint.

A légitözlekedéssel kapcsolatban kialakuló környezeti hatások vizsgálata a legtöbb esetben e két értékelési szint alapján történik, ami megfigyelhető a publikált kutatási eredmények [4], [5], [6] alapján. Megfigyelhető azt a széles körben alkalmazott eljárást, miszerint napjainkban elsődleges a humán érdek, vagyis a legtöbb esetben az emberi válaszreakciók és közegészségügyi szempontok érvényesülnek a környezetterhelési követelményekben [7]. Ez egészül ki terhelési

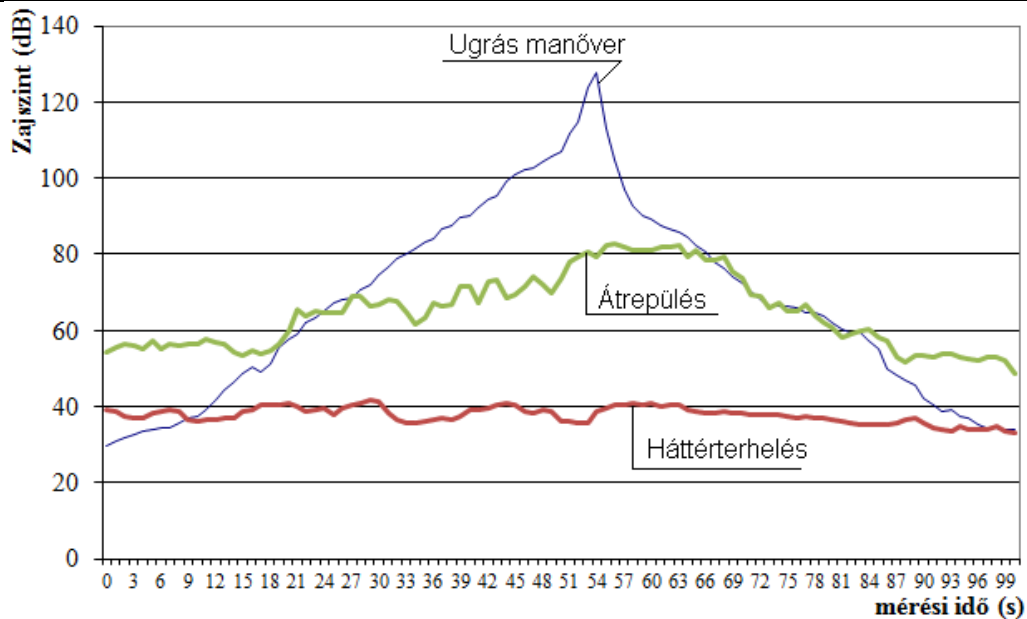
oldalon a természeti értékek és a természetes környezet védelmével [1], azonban ennek hiányossága, hogy a közegészségügyi szempontból rögzített határértékek a természeti értékek szempontjából nehezen, vagy egyáltalán nem alkalmazhatóak.

Ugyanakkor, egy kiválasztott környezet és az ott élők érdekében számos döntés születik, ami lokális és tágabb értelemben is a természetes környezet járulékos terhelését okozza, vagy sok esetben az ember által használt egyéb területen lép fel egy újabb, esetleg nagyobb mértékű környezetterhelés. A légitözlekedéstől származó környezeti hatás megítélése tehát mindig függ attól, hogy a repülés milyen környezetet érint, ott milyen irányú és mértékű változást idéz elő, vagyis milyen környezetgerjesztéssel számolhatunk. A válaszreakció kialakulásában meghatározó szerep jut az alapállapot értékeknek, és azoknak a jellemzőknek, melyek az állapotváltozás kiinduló adataiként szerepelnek. Ezt a megállapításunkat támasztjuk alá az általunk elvégzett műszeres zajmérések eredményeivel, melyek eltérő jellemzőkkel bíró környezetben lettek rögzítve. A terhelésváltozás mértéke alapján a különböző területek zajszint-idő függvényére az 1. ábrán látható adatsorral mutatunk példát, melyen helikopteres művelettől származó zajszint értékek láthatóak átlagos városi lakóterületi háttérzaj és közúti zaj értékekkel összevetve.



1. ábra Repülési művelet és lakókörnyezet zajszint értékei (Szerzők mérései alapján)

Hasonló, a repüléssel összefüggő zajterhelés eredményeit szemlélteti a 2. ábra, amikor helikopteres átrepülés és egy ugrás manőver zajszint értékeket vetettünk össze az érintett környezetben észlelt háttérterhelés értékekkel. Helikopteres repülési manőveren keresztül érzékeltetjük, hogy egy környezethasználati folyamat milyen érzékenyen reagál az összetett problémakör miatt a változásokra, mivel a repülési feladat során bekövetkező tudatos vagy véletlen behatások miatt jelentősen megváltozik az előre eltervezett folyamat. Ezek a mérési tapasztalataink igazolták számunkra, hogy a becslési és modellezési eljárásoknál nagyobb figyelmet kell fordítani a vizsgált folyamat során bekövetkező nem várt eseményekre, mivel azok jelentős mértékben befolyásolják a modellezett folyamat végeredményét. Mivel ennek a ténynek kiemelt jelentőséget tulajdonítunk, a véletlen behatások lehetőségét is figyelembe vesszük a kutatásaink során.



2. ábra Ugrásmanőver és átrepülés zajszint értékek (Szerzők mérései nyomán)

A légitársaság környezetvédelmi oldalról természetesen – a környezeti zajterhelésen túl – több szempont alapján is vizsgáljuk, az eddigiekben részletezett, illetve az 1. és 2. ábrákon bemutatott vizsgálati zajeredményeket csupán kiemeltük a hatások közül. Ennek legfőbb oka, hogy a környezeti hatásokat a légitársaság esetében – hasonlóan más tevékenységekhez – is súlyozzuk, így a következő megállapítást tesszük:

- a környezeti hatások áttekintésének legyen része a környezetben kiváltott válaszreakciók összehasonlító elemzése;
- a közvetlen állapotváltozás mértéke a környezeti hatások értékelésében elsődleges szereppel bír.

Ahogy fentiekben említettük, a repülésből eredően a zajhatáson túl több különböző hatás éri a környezetet, amit a következőkben foglalhatunk össze: levegőszennyezés, hulladékok káros hatásai, földtani közeget és vizeket érő szennyezések.

A légitársasággal összefüggésben a környezeti levegőbe kerülő légszennyező anyagok a repülőtéren és környezetében jelentkeznek koncentráltan. Levegőterheltségi szint szempontjából a tényleges repülés – felszállás, emelkedés, vízszintes repülés, süllyedés, leszállás – mellett a repülőtér, leszállóhely üzemeltetési folyamataiból eredő kibocsátások is meghatározóak. A légszennyező anyagok kibocsátásának mértéke elsősorban attól függ, hogy a repülés mely fázisáról beszélünk. Felszállás és leszállás időszakában, gurulásnál és földi üzennél a nitrogén-oxid (NO_x), a szén-hidrogén (CH) és a szén-monoxid (CO) kibocsátás dominál. Vízszintes repülés-kor a nitrogén-oxid és a szén-dioxid (CO_2) kibocsátás növekszik meg, illetve a magas légkörben 9000 m magasság felett haladva víz keletkezik, ami megfagyva fokozza az üvegházhatást. A külső szemlélő számára, mint kondenzcsík jelenik meg.

A különböző légszennyező anyagok levegőben való terjedése és a tartózkodási idő több tényezőtől is függ, így szerepet kap a szennyezőanyagok minősége és koncentrációja, az időjárási viszonyok és a repülőtér környezetének beépítettsége. A koncentráció természetesen annál magasabb, minél közelebb vagyunk a szennyező forráshoz.

Levegőtisztaság-védelem tükrében vizsgálva a légiközlekedést, az alábbiakat kell kiemelnünk. Mivel az NO_x a troposzférában ózont termel, a sztratoszférában viszont roncsolja az ózont, a repülési magasság szerepét hangsúlyozni kell 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 a troposzférában megfagy és a jégkristályok miatt növekszik a légköri felmelegedés, ami viszont már globális értelemben megjelenő környezetvédelmi problémakörbe tartozik.

A helikopteres repülések kis magasságon történnek, nem lehet a nagy magasságú (például utaszállító repülőgépek) repüléssel azonos szempontok alapján értékelni és minősíteni a levegőkörnyezetben okozott hatását. Tehát a zaj elleni védelemhez hasonlóan levegőtisztaság-védelem szempontjából is rendkívül eltérő lehet a környezeti hatásfolyamat a különböző repülési tevékenységek között, célszerűen más-más értékelési rendszer alapján kell megítélni a járulékos környezeti hatást vagy egy adott terhelés kialakulását.

Vannak olyan szempontok, melyek háttérbe szorulnak, amikor a repülést környezetvédelmi szempontból vizsgáljuk, pedig más közlekedési ágazatokkal összevetve az eredő terhelést, nem hanyagolható el szerepük. Ilyen a talajterhelés, a földtani közegek és a vizek terhelése, vagy a hulladékok keletkezése. A légiközlekedés szigorú üzemeltetési rendszerét tekintve az egyéb szennyezőanyagok keletkezése és későbbi kezelése jól szabályozható, ellenőrzött folyamatokról beszélhetünk, és az azonnali beavatkozás lehetősége biztosított.



3. ábra Hulladékok tárolása repülőtéren (Szerzők fotója)

A hulladékok kezelése a repülőtér vagy a légi jármű üzemeltetésében teljes egészében ellenőrzött folyamat, ami nem mondható el más közlekedési ágazatokban megjelenő hulladékokról. Számos példa mutatja, hogy a közlekedésben megjelenő hulladékok nagy problémát okoznak mind a kezelés, mind a környezetszennyezés megakadályozása tekintetében. Nyilvánvaló cél, hogy a légiközlekedés üzemeltetési folyamataiból is minél kevesebb hulladék kerüljön ki, de azt látni kell, hogy a keletkezés helye lehatárolt, a műszaki védelem kiépítése megoldott, és biztosított a külső hatások ellen védettség.

Repülőtéren keletkező hulladékok tárolására mutatunk példát a 3. ábrán, míg a 4. ábra közúti jármű gumiabroncsok gyakran tapasztalt elhagyását szemlélteti.



4. ábra Jármű abroncsok, mint elhagyott hulladék (Szerzők fotója)

A repülőterek kiépítettsége ma már magába foglalja azokat a műszaki létesítményeket és eszközöket, melyek a szennyezett csapadék- és csurgalékvizek kezelését lehetővé teszik. A hulladékokhoz hasonlóan a szennyvizek keletkezése is ellenőrzött folyamat, nem a műszaki eszközök rendelkezésre állása, hanem a kiépítéssel és üzemeltetéssel kapcsolatos költségtényező határozza meg a környezeti hatások csökkentését, az esetleges szennyezés megakadályozását.

Jellemző	Környezeti hatás
Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zaj- és rezgésterhelés; 2. Levegőterhelés, légszennyezés; 3. Vizek és földtani közeg terhelése, talajterhelés; 4. Hulladékok káros hatásai.
Gurulás, felszállás, emelkedés	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zaj- és rezgésterhelés; 2. Levegőterhelés, légszennyezés;
Vízszintes repülés sztratoszféra felett	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
Vízszintes repülés troposzféra felett	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
Leszállás, érkezés, gurulás	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zaj- és rezgésterhelés; 2. Levegőterhelés, légszennyezés;
Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zaj- és rezgésterhelés; 2. Levegőterhelés, légszennyezés; 3. Hulladékok káros hatásai; 4. Vizek és földtani közeg terhelése, talajterhelés.

1. táblázat Repüléstől származó környezeti hatások összefoglalása

A környezetszennyezés a hatással érintett környezeti elemek eredeti, természetes tulajdonságát változtatja meg. A környezetkárosítás a szennyezés mértékét vagy minőségét tekintve már olyan mértékű, hogy az életkörülmények romlását idézi elő. Amennyiben az 1. táblázatban összefoglalt hatásokat nézzük, megállapíthatjuk, hogy a légiközlekedés környezeti hatásait nemcsak kezelni kell, hanem lehet. Ebben az esetben a „szennyező hatás” kategóriáról beszélhetünk, a „károsító hatás” kategória kizárása megoldott, illetve az ehhez szükséges eszközök rendelkezésre állnak.

2.2. Repüléstől származó környezetterhelés kezelése

Repülőutak előnye, hogy egyéb szempontból ugyan, de mindig csak a szükséges tárgyakat visz-szük magunkkal, felesleges poggyász vagy áru szállítására a legritkább esetben kerül sor, ami kedvezően befolyásolja a repülésnél mozgatott áru mennyiségét. Légi közlekedés keretében ellenőrzött az utas-magatartás, kontrollált a szállítmányozás, ami a biztonság kockázatait csök-kenti. Ahogy a 2.1. fejezetben kifejtettük, környezetvédelmi megközelítésben lényeges szem-pont, hogy a légi szállításnál jóval kevesebb hulladék keletkezik, mint a közúti-, vasúti- és vízi szállításnál, nincs elhagyott hulladék, a szolgáltatást igénybe vevő fél és az utas nem szennyezi közvetlenül a felszíni és felszín alatti vizeket.

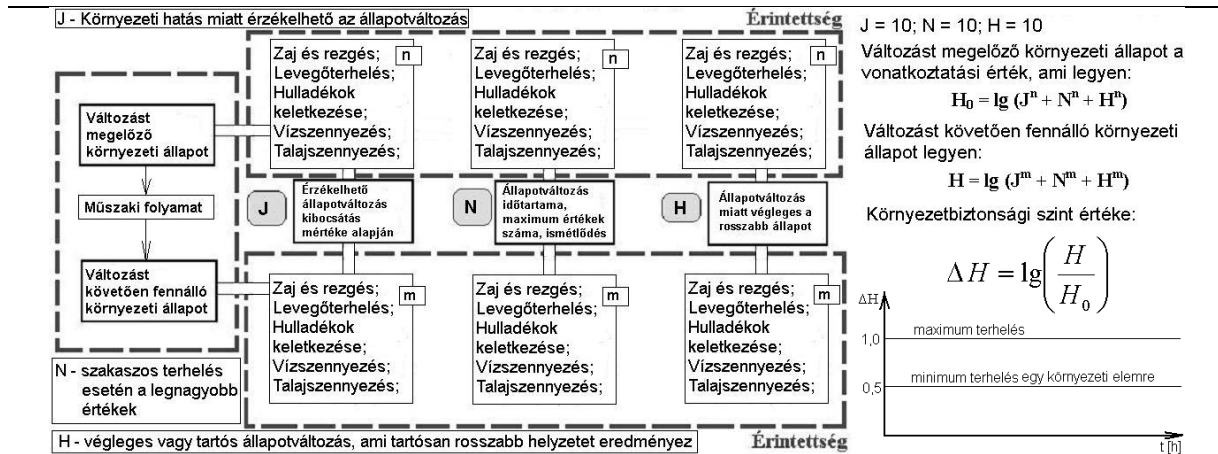
A környezetterhelési kockázatokkal összefüggésben meg kell említeni a katasztrófa kialakulá-sát is, mivel egy esetleges katasztrófa környezetvédelmi szempontból is a szokásos üzemálla-pottól eltérő, különleges helyzetet teremt, és valamennyi környezeti elemet érintheti. Következ-ményeként a legtöbb esetben a felszíni és a felszín alatti vizek, illetve a földtani közeg szeny-nyeződik, amit hosszadalmas mentesítés, illetve kárelhárítási tevékenység követ, mindez jelen-tős műszaki beavatkozást is jelent az eredeti környezeti állapotba. A katasztrófa, mint környe-zetterhelési kockázat megjelenítése így indokolt a folyamatok vizsgálatánál, hiszen baleset a vízszintes repülés időszakában, illetve a nagy távolságú repülésnél is bekövetkezhet, és ekkor másodlagos következményként ugyan, de jelen van a környezetszennyezés is. Fontos leszö-gezni azonban, hogy a környezeti kockázatok terén is csak az lehet elfogadható helyzet, ha ilyen esemény nem következik be.

A környezetterhelés csökkentésére a légiközlekedés szabályozottsága és a szigorú üzemeltetési rendszer fenntartása jó hatással van. Egy ilyen üzemeltetési rendszer önmagában hordozza a kíméletes környezethasználat lehetőségét, éppen ezért tartjuk célszerűnek a környezeti hatáso-kat is annak megfelelően besorolni, ahogy az 1. táblázatban tettük. A jobboldali oszlopban sze-replő hatások a részfolyamatok kibocsátási jelentőségét tükrözik. Ezzel természetesen nem a hatásokat állítjuk szembe, hanem arra kívánjuk ráirányítani a figyelmet, hogy számos területe van a környezetvédelemnek, ahol rendelkezésre állnak azok a műszaki berendezések, eszközök és építmények, illetve ismertek azok a technológiák, melyek a kibocsátások tényleges csökken-téséhez vezethetnek [8]. Ezzel a céllal vázoltunk fel egy a korábbiaktól eltérő értékelési rend-szert, amit az 5. ábrán mutatunk be.

Az 5. ábrán bemutatott módszer alkalmazható egy folyamat egészére, de – amennyiben ez szük-séges – a vizsgált környezethasználatot olyan rész folyamatokra lehet osztani, ami az adott kör-nyezeti hatás kezelését és besorolását lehetővé teszi. Vagyis a légiközlekedés esetében is cél-szerű ennek megfelelően eljárni, ezért – Kossiakoff és Sweet [9] munkája alapján – alábbi fel-osztás alkalmazását javasoljuk:

- repülési környezet;
- földi és irányítási környezet;
- kiszolgálói vagy támogatói környezet;
- üzemeltetési vagy karbantartási környezet.

A különböző tevékenység-környezeti lehatárolásokkal más és más hatást lehet kezelni, attól függően, hogy az adott lehatároláson belül melyik lesz a meghatározó.



5. ábra Hatások jelentőségét kiemelő értékelési rendszer

2.3. Anomáliák a repülés környezetvédelmi megítélésében

Az eddigiek figyelembevételével a légitözlekedés környezetvédelmi megítélésére az alábbi megállapítások tehetők:

- a repülés környezetre gyakorolt hatása és a környezetterhelés értékelése nem lehet független az állapot vonatkoztatási értékkel kimutatott környezetbiztonsági szinttől;
- a környezeti hatás minősítésében meghatározó szempont az alapállapot megváltozására adott környezeti válasz.

Fentiek alapján végeztünk kiterjedt vizsgálatokat a repüléstől származó zajterheléssel kapcsolatban, az 1. táblázatban is alkalmazott sorrendet az alábbiak szerint tudjuk indokolni: a hulladékokat összegyűjtjük és kezeljük, a szennyvizet elvezetjük és megtisztítjuk, a levegőbe kerülő anyagokat erre alkalmas eszközökkel leválasztjuk, de a zaj ott marad. A légitözlekedés szempontjából a környezeti zaj kezelése van legkevésbé megoldva, csökkentése a hagyományos eszközökkel nehéz.

A repülési zaj megítélése – egyik oldalról – energetikai alapon történik, a többi környezeti zajforrástól függetlenül, azaz a környezet alapállapotának és az állapotváltozás mértékének figyelmen kívül hagyásával, mintha egyéb zaj nem is lenne a környezetben. Ez a szemlélet nélkülözi a szubjektív észlelés fontosságát.

A jelenleg alkalmazott értékelési eljárásoknál nem jelenik meg kellő hangsúllyal, hogy a környezetszennyezés anyagi vagy energia jellegű lehet. A zaj jelentéstartalma szerint nem kívánatos kellemetlen hang, a hang valamilyen közegben energia közlése miatt létrejövő rezgés. Ezért a zaj energia jellegű környezetszennyezésnek számít más, például valamely szennyező anyag levegőbe, talajba vagy vízbe kerülésével szemben. Nem lehet összegzett értékelést adni egy környezeti állapotról eltérő dimenziókkal leírt állapotjellemzőkkel.

Folytatva a gondolatot, zaj esetében a probléma a zavarásból adódik, az energiaközlés és ennek hatására a környezetben bekövetkező energiaváltozás a zavaró hatással összefüggésben van. Ezért tesszük fel a következő kérdéseket a további vizsgálatokhoz:

1. Hogyan történik az egyedi zajesemények és rövid zajesemények megítélése?
2. Milyen jellemzőket használunk az egyedi zajesemények értékeléséhez?

A fenti kérdések egzakt megválaszolásához további kutatómunka szükséges.

3. KÖRNYEZETVÉDELEM RENDSZERSZEMLÉLETŰ LEÍRÁSA

A különböző környezeti elemek szennyezése között természetesen létezik kapcsolat és átfedés, de a környezeti hatást az eltérő hatásmechanizmus miatt elkülönült módon minősítjük. A konzekvens értékelés érdekében ugyanakkor célravezető az lesz, ha a különböző hatások miatt nagyobb figyelmet fordítunk a repülés és környezetének kapcsolatára, azaz a rendszer és a rendszerkörnyezet elemzésére.

A szakirodalom több, egymástól eltérő megfogalmazást ad a rendszerrel kapcsolatban. ZADEH szerint a rendszert úgy definiálhatjuk, mint olyan objektumok összessége, melyeket kölcsönhatások és kölcsönös összefüggések kapcsolnak össze. Ebben a megfogalmazásban az is benne rejlik, hogy majdnem minden, ami létezik, valamilyen rendszernek tekinthető [10].

Nem egészen ennyire elterjedt, de ennek ellenére szintén alapvető fogalom a rendszer állapota. Első megközelítésben a rendszer állapota azt az egy adott időpontban megadott információk összességét jelenti, amely ettől az időponttól kezdve a rendszer viselkedésének meghatározásához szükséges.

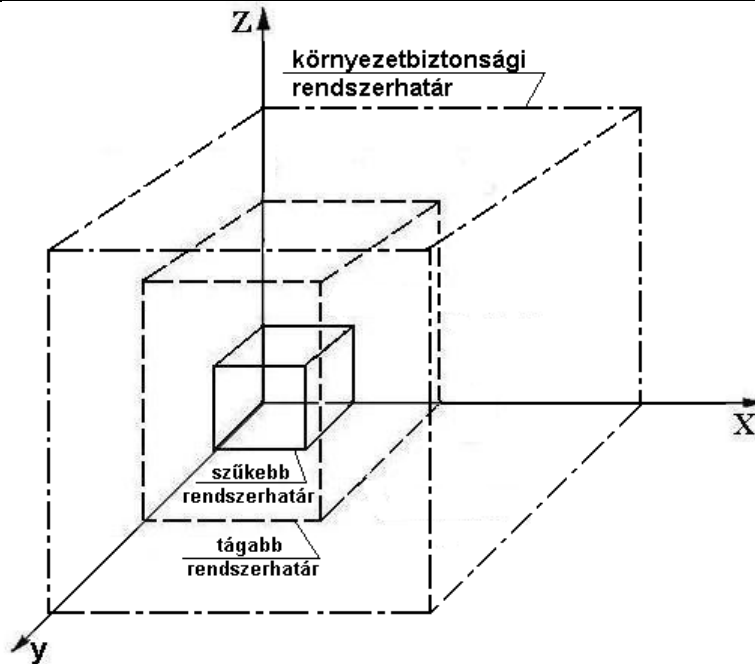
Ha a rendszert a bemenet-kimenet párok halmazaként definiáljuk, akkor az állapotot természetes módon bizonyos konzisztencia-kritériumokat kielégítő bemenet-kimenet párok részalmazához kapcsolódó címkeként határozhatjuk meg. Az ilyen részalmazt aggregátnak nevezzük. Az aggregát koncepciója fontos szerepet tölt be a rendszerelméletben, hiszen igen természetes módszert szolgáltat az állapot-ekvivalencia, a rendszer-ekvivalencia, a bemenet – kimenet állapotrelációk, tehát a rendszerelmélet alapelveinek bevezetéséhez.

Általunk elfogadott meghatározás szerint, a rendszer olyan jelenségek vagy objektumok összessége, melyeket kölcsönhatások és kölcsönös összefüggések kapcsolnak össze. A folyamat a rendszeren belül lejátszódó jelenségek térbeli és/vagy időbeli sorozata [10].

Fenti megfogalmazások a jelenségeken, objektumok összességén, a rendszerelemek kölcsönös összefüggésén és adott időpontokhoz kötött állapot-információkon alapulnak. Környezetvédelmi megközelítésben mindebből hiányzik egy nagyon fontos elem, a rendszer által generált hatásfolyamat és a rendszer környezeti állapotnéhez.

A fentiekből következően szükséges a környezetbiztonság és a környezetbiztonsági rendszer fogalmának bevezetése. Összegezve korábbi kutatásaink eredményeit és eddig tett megállapításainkat, általánosságban azt mondhatjuk, hogy *környezetbiztonság* a természeti folyamatokból származó károsodások, az emberi tevékenységek és műszaki folyamatok következtében fellépő környezetszennyezés vagy károsítás, és a társadalmi vonatkozású nem kívánatos mértékű környezetterheléssel járó események. Az összetett fogalomkör miatt kijelenthető, hogy a környezetbiztonság olyan rendszerben képes kezelni a környezeti hatások kérdéseit, ami egyaránt figyelembe veszi a környezetvédelem és a természetvédelem, az egészségvédelem és az általános biztonság feltételeit, ugyanakkor szükséges tartjuk kiterjeszteni a környezethasználat és igénybevétel között fennálló kompromisszumos egyensúlyra is.

Ehhez elsődlegesen a környezetvédelmi rendszer fogalmát határozzuk meg a környezetvédelem és környezetbiztonság szemszögéből megközelítve. A környezetvédelmi rendszer vázlatát szemléltetjük a 6. ábrán, melyen a környezetbiztonsági rendszerhatárt is feltüntettük.



6. ábra Környezetvédelmi rendszer vázlata

4. ÚJ FOGALMAK A REPÜLÉSI KÖRNYEZETVÉDELEMBEN

Kutatásaink a légiközlekedéssel összefüggésben a környezetbiztonság és a környezeti hatások együttesére irányulnak. Ehhez nélkülözhetetlen azon fogalmak pontosítása, melyek a rendszer-szemléletű megközelítést teszik lehetővé, és tartalmukban kiterjednek a hatással összefüggő folyamatok, esetünkben a légiközlekedés működési jellemzőire is. Emellett rávilágítunk azokra a környezetvédelmi rendszeren belüli kapcsolódási pontokra is, melyek a környezeti hatások egzaktabb megítéléséhez lesznek szükségesek.

Eddigi vizsgálatainkra támaszkodva vezetjük be az alábbi fogalmakat:

Műszaki folyamat: olyan gépüzemeltetési, üzemfenntartási és karbantartási események sorozata, melyeknél egymással kölcsönhatásban lévő műszaki egységek működtetése révén anyag és/vagy energia átalakulás megy végbe.

Környezeti hatás: környezeti szempontból érzékelhető állapotváltozás.

Környezetvédelmi rendszer: kölcsönös összefüggés alapján kapcsolatban lévő rendszerelemek és folyamatok által generált környezeti állapot tényezők összessége.

Környezetvédelmi rendszerhatár: környezetvédelmi rendszer állapot tényezőkkel kijelölt sarokpontjaihoz kötött burkolófelület.

Környezetbiztonság: környezetvédelmi szempontú veszély hiánya.

Környezetbiztonsági rendszer: környezetvédelmi rendszer olyan mértékű kiterjesztése, ahol a műszaki folyamatba és a rendszerkörnyezetbe való beavatkozást igénylő negatív hatás lép fel.

Környezetbiztonsági rendszerhatár: környezetbiztonsági rendszer állapot tényezőkkel kijelölt sarokpontjaihoz kötött burkolófelület.

Kompromisszum feltétel: a környezethasználat és a környezet igénybevétele között fennálló kompromisszumos egyensúly, ami a környezeti hatás alapján, de a műszaki folyamat fenntartásával meghozott döntéseken és döntési sorozatokon alapul.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

Kutatásaink során olyan környezetvédelmi értékelési módszer kidolgozását végeztük el, ami komplex módon képes választ adni a légitözeledés környezeti hatásaival kapcsolatos, az érintett területen élők biztonágérzetére is kihatással lévő környezetbiztonág kérdésaire. A légitözeledés környezetbiztonágával és a környezeti hatásaival kapcsolatban nélkülözhetetlen az alkalmazott fogalmak pontosítása, ami a későbbiekben felmerülő kérdések megválaszolását is elősegíti. Ezért az eddigi vizsgálatainkra támaszkodva új környezetvédelmi és környezetbiztonági fogalmakat vezetünk be. Emellett rávilágítottunk azokra a környezetvédelmi rendszeren belüli kapcsolódási pontokra is, melyek a környezeti hatások egzaktabb megítéléséhez szükségesek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BERA JÓZSEF – POKORÁDI LÁSZLÓ Helikopterzaj elméleti és gyakorlata, Campus Kiadó, Debrecen, 2010.
- [2] BERA JÓZSEF Ipari helikopteres repülés környezeti hatásai, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi régióban, 2011, Szolnok, pp. 89-94.
- [3] BERA JÓZSEF – POKORÁDI LÁSZLÓ Légiforgalom és repülőtér fejlesztés környezetvédelmi kockázatkezelése, Közlekedéstudományi Konferencia, 2012, Győr, pp. 137-148.
- [4] BARBARA GRIEFAHN – ANKE MARKS – SIBYLLE ROBENS Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep, *Journal of Sound and Vibration* 295, 2006, pp. 129-140.
- [5] K. HIRAMATSU – T. MATSUI – A. ITO – T. MIYAKITA – Y. OSADA – T. YAMAMOTO The Okinawa study: an estimation of noise-induced hearing loss on the basis of the records aircraft noise exposure around Kadena Air Base, *Journal of Sound and Vibration* 277, 2004, pp. 617-625.
- [6] G.M AASVANG – B. ENGD AHL Subjective responses to aircraft noise in an outdoor recreational setting: a combined field and laboratory study, *Journal of Sound and Vibration* 276, 2004, pp. 981-996.
- [7] BERA JÓZSEF Háttérzaj értékelése eltérő környezeti adottságok függvényében, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi régióban, 2008, Szolnok, pp. 99-107.
- [8] Óvári Gyula – Szegedi Péter Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben *Repüléstudományi Közlemények*, 2010/2 pp. 1-29
- [9] KOSSIAKOFF A. – SWEEZ W. *Systems Engineering – Principles and Practice*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- [10] POKORÁDI LÁSZLÓ Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.

Ozsváth Sándor¹

A MESSERSCHMITT 210-ES TÖBBFELADATÚ REPÜLŐGÉP MAGYARORSZÁGI GYÁRTÁSA ÉS FEJLESZTÉSE, VALAMINT A PROGRAMHOZ KÖTHETŐ GAZDASÁGI-IPARI FEJLŐDÉS BEMUTATÁSA²

A magyar repülőgépgyártás és fejlesztés meghatározó mérföldköve volt a Messerschmitt 210-es többfeladatú repülőgéphez köthető program. Az európai mércével mért fejletlen magyar repülőgépipar e feladathoz köthetően hatalmas fejlődésen ment keresztül. A magyar szakemberek részt vettek a típus fejlesztésében, elsajátították a korszerű hegesztett félhéj szerkezetek gyártástechnológiáját, a termelés szervezése terén pedig megismerték a modern vállalatvezetés és termelésirányítás, valamint minőségbiztosítás alapjaival.

THE MESSERSCHMITT 210 MULTI-PURPOSE AEROPLANE, AND THE RELATED PROGRAM, WERE A SIGNIFICANT MILESTONE IN THE HISTORY OF HUNGARIAN AIRCRAFT PRODUCTION AND DEVELOPMENT

Due to the program, the Hungarian aircraft industry, which was rudimentary by European standards, went through a phase of enormous development. Hungarian experts participated in the development of the aircraft and learnt the manufacturing technology of welded half shells. They also improved their skills in the organization of production, as they mastered the fundamentals of business management, manufacturing and quality control.

GAZDASÁGI ÉS ÁGAZATI KÖRKÉP A PROGRAMOT MEGELŐZŐ IDŐSZAKBÓL

Az 1930-as évekre a nemzetközi repülőgépipar nagy átalakuláson ment keresztül. A repülés fejlődésének köszönhetően a világ kisebbé vált. A kereskedelmi repülés terén évente kerültek rendszeresítésre új típusok, újabb és újabb területek kapcsolódtak be a nemzetközi légi közlekedés vérkeringésébe. Az erős piaci igények hatására folyamatos és állandó fejlesztési kényszer jelentkezett a repülőgépgyártóknál, hiszen a kereskedelmi repülés terén kialakult erős versenyben csak a legjobbak maradhattak talpon. A korai manufakturális jellegű üzemek fokozatosan modern termelővállalatokká fejlődtek. A piaci kényszer húzta magával a katonai repülőgépek fejlesztését is, azonban ennek az üteme egészen a háborút megelőző időszakig elmaradt a kereskedelmi repülőgépektől.

Ebből a nagy fejlődést mutató időszakból hazánk sajnos kimaradt. Magyarország nem rendelkezett olyan ipari-gazdasági környezettel, amely lehetővé tette volna önálló és folyamatos fejlesztőmunkát végrehajtani képes repülőgépgyárak kialakulását és piacon való megmaradását. A 20-as évek végén és a 30-as évek elején az ország még éppen csak túl volt a Trianon okozta gazdasági és társadalmi sokkon, az építkezést az alapoktól kellett elkezdni. Az ország politikai

¹ Főhadnagy, Honvéd Koronaőrseg csoportparancsnok, ozsvath.sandor@mil.hu

² Lektorálta: Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár, NKE Katonai repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

és katonai vezetői tisztában voltak ezekkel a problémákkal, és komoly erőfeszítéseket tettek annak érdekében, hogy hazánk képes legyen korszerű repülőtechnika előállítására. Helyzetük Magyarország elszigetelődése miatt minden téren igen nehéz volt.

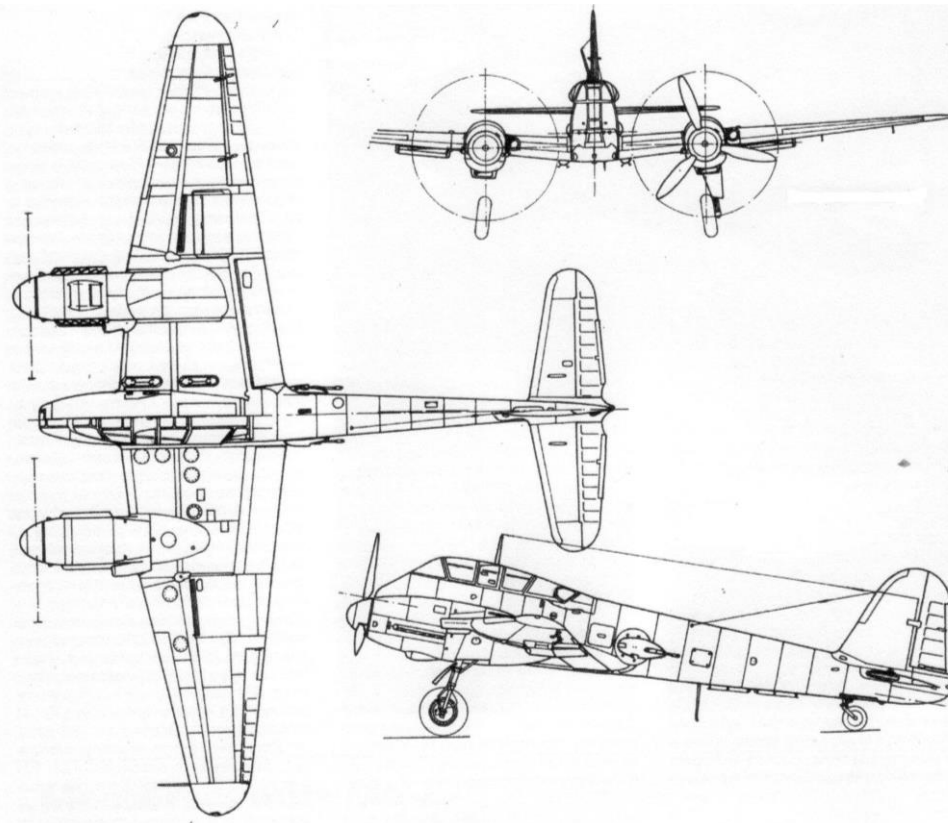
Korszerű katonai repülőgépek beszerzésének kérdése a háború előtt

A titkos, majd később az egyre kevésbé titkos haderőfejlesztés időszaka alatt a légierő vezetői folyamatosan küzdöttek a korszerű repülőtechnikát képviselő eszközök megszerzéséért. A nemzetközi politikai környezetből adódóan a Királyi Légierő tele volt olyan beszerzésekből (elsősorban olasz) származó repülőgépekkel, amelyek zömükben már rendszerbe állításuk idején korszerűtlenek voltak és a hazai bázison való továbbfejlesztésük sem technikai, sem gazdasági szempontból nem volt érdemes. A szakemberek hiánya, valamint az ország anyagi lehetőségei, nem tették lehetővé, hogy külön feladatkörönként átfogó saját fejlesztések induljanak, ezért mindenféleképpen a több feladatú repülőgépekre volt szükség. Igazán korszerű repülőgépek gyártásához azonban új anyagok és gyártástechnológiák is kellettek, hiszen 1940-re már nyilvánvaló volt, hogy a jövő a tisztán fémépítésű nagy felületi terheléssel rendelkező harci repülőgépeké. Németország jó pár éven keresztül vonakodott eladni az élvonalba tartozó repülőgépeit és a gyártásukhoz szükséges technológiát, így a korszerű repülőgépek és repülőgép motorok előállítása terén hazánk komoly hátrányban volt.

A MESSERSCMITT 210 TÖBBFELADATÚ REPÜLŐGÉP GYÁRTÁSÁNAK ELŐKÉSZÍTÉSE, GYÁRTÁSA ÉS FEJLESZTÉSE

A korábban említett nehézségek ellenére, Magyarország már viszonylag korán igyekeztek egy olyan bázist létrehozni, amely alapja lehetett egy későbbi korszerű gyártási folyamatokat alkalmazó repülőgépgyárnak. 1928. június 20-án, megalakították a Weiss Manfred Repülőgép és Motorgyár Rt.-t, amely anyavállalatként a háború végéig a magyar repülőgépgyártás központja maradt. (A 20-as években az UFAG, a Lloyd, és a MÁG felszámolásával az ország repülőgépgyártási bázis nélkül maradt, így bármilyen új típus előállításához egy új üzemre volt szükség). Ez volt a WM Rt, amely csak külföldi repülőgép motor és sárkányszerkezet licencet hazai gyártásával foglalkozott. A felállított vállalat rendelkezett konstruktóri irodával, azonban ennek tervezőkapacitása így csekély, mintegy 6 fő volt. Mivel a kormányzati és gazdasági érdekek kölcsönösen erősítették egymást, ezért a magyar kormány külgazdasági kapcsolatokért felelős vezetői mindent megtettek a hazai repülőgépipar számára előnyös licenc szerződések megszerzéséért. A kezdetben gyártásba átvett német Heinkel és egyéb olasz gyártmányok azonban kétség kívül nem tartoztak az élvonalhoz. A licenc jogok megszerzése terén az első komoly eredmény a Ju 87. B-K(B-2) repülőgépsárkány, valamint a Junkers Jumo 211 Ba(Da) repülőgép motor gyártási jogainak 1940-es megszerzése nevezhető [2]. Miután a HM ezt megszerezte, felkérték a Weiss Manfred Repülőgépgyárat a termeléshez szükséges feltételek kialakítására, valamint a gyártásra történő felkészülésre. A felkészülés keretén belül szakemberek utaztak Németországba, hogy tanulmányozzák a gyártási folyamatokat és technológiákat, itthon pedig a repülőgépgyár beruházásokat végzett az új technológiákhoz köthetően. Ebben az időszakban már világossá vált, hogy a Héjja sem teljesítményében sem technológiai kialakításában nem fog megfelelni az elvárásoknak, mivel a modern, félháj szerkezet

gyártása szegecselt lemezeléssel történt, amelyhez a korábban vásárolt amerikai szerszámok és eszközök nem voltak alkalmasak [5]. Az új géptípushoz szükséges alumínium ötvözetű lemezeket, csöveket, profilokat itthon kellett előállítani, ezért fejlesztették az alumíniumhengerek és présmű egységeket. A gyártásra való felkészülés jegyében megtervezték a beszállítók tevékenységét is, és igyekeztek minden hazai ipari lehetőséget kihasználni. A gumikerekek gyártására a Magyar Ruggyantagyrának, a fegyverzetére a Danuvia Rt.-nek, a műszerekére pedig a Marx és Mérei vállalatnak adtak megbízást. A közel egy évig tartó intenzív felkészülést követően került sor 1941. március 10-én a magyar-német bizottsági tárgyalásokra, amely váratlanul új prioritásokat határozott meg. Előtérbe került a harcászati alkalmazhatóság és a többfeladatúság kérdése, így a Ju 87 gyártása háttérbe szorult.



1. ábra Messerschmitt 210-s első „rövid törzsű” alapváltozata

Hosszas diplomáciai és politikai előkészítés után 1941 tavaszán került sor a gyártási jogok megvásárolására. 1941-től a német vezetés tudatosan telepítette szét a hadiiparát, a fokozódó szövetséges bombázások miatt. Repülőipart egyaránt került Romániába, a Cseh Protektorátusba és Magyarországra. Utóbbi korszerű német repülőgépekkel kapcsolatos igényeit a német hadiipar saját leterheltsége miatt eladással nem tudta teljesíteni, így közös érdek volt a magyarországi Me-210 gyártás beindítása. A szerződés aláírására 1941. június 6.-án Berlinben került sor. Nem volt azonban hiábavaló a Ju 87 gyártására való felkészülés, hiszen a korszerű lemez megmunkálási és egyéb gyártási eljárások jól használhatók voltak a Me 210 esetében is. A legyártott Ju 87-es alkatrészeket Németországba szállították, a licencdíjat pedig a Me 210 licencdíjába számolták bele. A korszerű technikának azonban így is ára volt, a Me 210 licencösszege 3, a Db 605-ös repülőgépmotoré, pedig 1,7 millió Birodalmi Márkába került [2]. A Me 210-es rendszerbe állítása esetén viszont ki lehetett váltani a Ju 86-ost és a Caproni 135-öst, illetve a He-

70-est. A Me 210 harci repülőgép – további fejlesztések elvégzését követően – nehézvadász és éjszakai vadász feladatkörben is alkalmazható volt, így a többfeladatuság gazdaságilag is kifizetődőnek ígérkezett. Önmagában a gyártás így sem volt gazdaságilag szerencsés, azonban a politikai környezet ezt a megoldást tette lehetővé. A licencek megvásárlása magyar-német repülőgép gyártási egyezmény is kötődött, amely a magyar repülőgépipar sorsát egészen a háború végéig meghatározta. Az egyezményben foglaltak szerint a magyar gyártásból származó Me 210-es repülőgépek felét a németeknek kellett leszállítani, és a termelést gyorsan kellett felfuttatni. Világossá vált, hogy ilyen mértékű termelés és technológia új típusú vállalatvezetést és vállalati struktúrát is kíván, hiszen eddig nem látott koordinációs feladatokat kellett napi szinten végrehajtani. Már a tárgyalások alatt folytak előkészületek egy olyan új gyár kiépítésére, amely képes megfelelni az új típusú elvárásoknak. Az új vállalatot Dunai Repülőgépgyár Rt. Néven a Weis Manfred konzernbe integrálták be 6000 db részvénnyel, hatmilliós névértéken [2]. A WM tulajdonosi jogait részvényein keresztül gyakorolta, a létrehozott vállalat önálló tevékenységet folytatott. A Messerschmitt AG-val 1941. június 26-án megkötött licencszerződés alapján, a repülőgépgyár beárazta a repülőgépsárkányokat, melyek közül az első 100-as sorozatban egységára 33 930 000 Pengő volt [2]. A korabeli Királyi Magyarországon ez az összeg elképesztően nagy számított. A közvetlen termelés és a beszállítói kör gazdaságra és technológiai kultúrára gyakorolt élénkítő jellegű hatása széles körben megmutatkozott, így más területen is jótékonyan érvényesül a Me 210 gyártásába fektetett energia. A szerződési feltételeknek megfelelően az első 100 repülőgép legyártásához a szükséges anyagokat és bizonyos szerszámokat a Messerschmitt AG-nak kellett biztosítani [2]. (A németországi Augsburgban található gyártósor 50%-ának átszállításával.) Erre azért volt szükség, mert a termelés megindítása során törvényszerűen olyan anyagokhoz és eszközökhöz köthető problémák merülnek fel, melyek megtörik a gyártás szervezettségét és a termelést észrevétlenül manufaktúris jellegű repülőgép építéssé változtatják. A Messerschmitt AG-val való együttműködés koránt sem volt problémamentes. 1941. december 10-én a munkaelőkészítés 80%-os állapotban volt. Hiányzott 258 db. szerszámgép, továbbá a szerszámgépek helyi gyártásához szükséges 50 eszközből is mindössze csak 6-ot szállítottak le [2]. Mind a gyártás megindítása mind a teljes termelés során, naponta jelentkeztek a koordinációs és egyéb problémák, amelyek gyakran a magyar partnerrel szemben támasztott előítéleteknek volt köszönhető. Repülőgépsárkányok építése mellett a DB 605-ös motorok gyártása is nehezen haladt. A németországi beszállítások akadozása miatt az első fékpadi próbákat csak júniusban tudták végrehajtani. A termelés felfuttatásával párhuzamosan a motorgyárban működő üzemszerveket áttelepítették Csepelről Horthy ligetbe (Szigetszentmiklós). Az áttelepítés mellett a motoralkatrészek gyártása továbbra is Csepelen folyt, a végszerelést viszont a Horthy ligeti üzemegységben végezték. A gyártás során számos problémát sikerült megoldani egy Németországból nyáron beérkező repülőgéppel, amely mintaként szolgált. A repülőgéppel a nyár folyamán sok repülést nem tudtak végezni, hiszen ilyen vagy olyan okokból mindig a gyárban állt mintavétel céljából. A számos nehézség ellenére 1942. december 21-én repülésre kész állapotban volt az első RF+PA lajstromjelű repülőgép [4]. A gép berepülését Eszenyi Dénes százados végezte.

A típus hazai bázison történő fejlesztése

A Messerschmitt AG-val való nehézkes együttműködés, valamint a hazai igények felmerülésével a gyártás során elkezdődött a típus hazai bázison való fejlesztése. Ennek a munkának meghatározó tényezője volt az ismert repülőgép tervező Samu Béla [3], valamint az 1942-ben Varga László egyetemi tanár vezetésével létrehozott Repülő Műszaki Intézet [15]. A Messerschmitt 210-es mint fejlesztési bázis ígéretesnek mutatkozott. A típus eredeti gyorsbombázó változatának legnagyobb fegyverzeti terhelése 1000 kg volt. [11]



2. ábra Me 210, 1944 nyarán Pozsgay Gyula festménye (az alkotó engedélyével)

Elméletileg egyaránt hordozhatta a német gyártmányú romboló (SC 1000), repeszromboló (PC 1000) és résztölteteket hordozó (SB 1000) bombaváltozatot. [16] A Me-210 gyorsbombázóra függeszthető egytonnás bomba a Magyar Királyi Honvédség raktári készletében is rendelkezésre állt. [17] A leggyakrabban alkalmazott típus azonban a 250 kg-os repeszbomba volt, de esetenként használtak 500 kg-os kazettás bombát is [4].

A konkrét fejlesztés végül három irányban indult meg, amely során, rövid távon egy nehézvadász, egy foto felderítő és egy éjszakai vadász változat létrehozását tűzték ki célul. Közülük legtovább a nehézvadász változattal sikerült eljutni. Ezzel kapcsolatban erős volt a nyomás a fejlesztőkön, hiszen a szövetséges légifőlény Magyarország fölött fokozatosan is egyre nyomasztóbb lenni, és égetően szükség volt egy olyan repülőgépre, amely alkalmas volt a bombázók leküzdésére. Az elgondolás szerint a Me 210-es tüzfegyvereivel a bombázók fedélzeti lövészeinek hatásos tűztávolságán kívül kellett támadást kezdenie. Ennek érdekében a magyar Me 210-est fejlesztett változatát nem irányított rakétafegyverzettel is felszerelték (ezen a téren a németek már 1943-ban folytattak kísérleteket 21 cm-es rakétákkal). Ehhez egy a Magyar Királyi Honvédségben is rendszeresített német 15 cm-es ködvető rakétablokkot alakították át, mégpedig úgy, hogy az eredeti hatos köteget megfelezték, és két, hármas köteggben helyezték el a szárnyakon [3]. A rakéták kötegei azonban nagyon nagy ellenállást eredményeztek, ezért a fejlesztés során nem csak ezeknek

a rögzíthetőségét, hanem egy esetleges légiharc esetén a lerobbanthatóságát is meg kellett oldani. Ez az átalakítás 1944 márciusára készült el. A tüzérv további fokozása érdekében a Haditechnikai Intézet fegyverzettechnikai fejlesztőmérnökeinek segítségével egy 40 mm-es gépágyút építettek a bombakamrába. A fegyvert a bombakamrában kialakított felfogató pontokhoz rögzítették, a töltését a hajózó-távírásvé végezte a kabinból. A nagy torkolati energia elvezetésének érdekében az ágyú második rögzítési pontja a főtartó volt [9]. Számítások szerint az új fegyver 1000–1200 méteres tűzmegnyitási távolságot tett lehetővé, és néhány pontos találattal már megsemmisíthető volt vele egy négymotoros bombázó repülőgép. Az 1944 júniusára a 40 mm-es gépágyúval kialakított nehézvadász változat fegyverét augusztusban lőtéri körülmények között ki is próbálták, azonban sorozatgyártásra az üzem kitelepítése miatt nem került sor [2]. Ugyanakkor légierő október 5-én átvette a gépágyús Me 210-est.



3. ábra Német gyártmányú Messerschmitt 210-es pilótafülkéje

A felderítő változat fejlesztése során az eredeti távolfelderítő gyári terveket alakították át, amelyben sok helyen egyszerűsítést végeztek. A tervek módosításával lehetőség nyílt több fényképezőgép beépítésére. A repülőgép orr része alá egy megfigyelőteknő került, egyúttal a bombakamra rész megszűnt. E térbe 5 db nagy teljesítményű felderítő kamerát, illetve a megfigyelő tiszt ülését helyezték el. A távolfelderítő változatnál a bombakamra hátsó részében egy pót üzemanyagtartályt is beépítettek a hatótávolság növelésére. A közelfelderítő repülőgépből két példány épült meg, az elsőnek a berepülése 1943. október 1-én indult meg, a második, pedig decemberre készült el. A távolfelderítő változatból 3 példány készült el. A további fejlesztést az üzem kitelepítése akadályozta meg. A továbbiakban csak a meglévő fődarabok komplettírozásához szükséges alkatrészek gyártása, illetve a meglévő készletekből összeállítható repülőgépek összeszerelése folyt novemberig.

Megépítették egy éjszakai vadász változat is. A 16 db lokátor nélküli, de német BAKE vakle szálló berendezéssel ellátott éjszakai Me 210 repülőgéppel az 5/1.-es éjszakai vadász századot

töltötték fel [8]. Éjszakai vadász szerepkörben mindenféleképpen előnyt jelenthetett, hogy a Me-210-esből a kilátás minden irányban jó volt, azonban a gép vezetése a nagy felületi terhelése miatt (is) valószínűleg nem lehetett könnyű feladat éjszaka, vagy bonyolult időjárási körülmények között. Történt kísérlet magyar gyártású a német FUG X. típusú lokátor mintájára készített „Turul” típusú radar beépítésére is, amelyről nagyon kevés információval rendelkezünk [8]. A vezérkar ragaszkodott az éjszakai vadászfeladatok ellátására képes Turul radar elkészítéséhez. Az EC-103-as csővel szerelt radar gyártásával a Philips céget bízták meg. A repülőgépbe (Me-210 Ca-1 éjszakai vadászrepülőgépbe) szerelhető radar első és egyetlen példányát az RKI (Repülő Kísérleti Intézet) 1944 nyarán berepülte és kipróbálta Várpalotán.”[15]. A Me 210-eshez köthető radartechnikai fejlesztések közül előremutató volt a rádióelektronikai felderíthetőség csökkentése. Ennek érdekében kísérleti célból készítettek egy hangolható oszcillátorú berendezést, amelynek a hullámhossza változtatható volt így nehezítve a felderítést [10].

Érdemes pár szót ejteni a magyar Me-210-es egyedi jellegzetességeiről. Gazdasági szempontok miatt nem engedhette meg az ország, hogy a repülőgépgyártási programban eltérő motorok készüljenek, így szerencsésnek mondható, hogy a német tervek szerint a magyar Me 210Ca és a Me 109G motorjai ugyanaz a DB-605-ös erőforrás volt. A magyar gyártású Me 210Ca repülőgép DB 605-ös motorjának beépítési terve német eredetű volt, amely azonban a 410-es program miatt Németországban nem futott be nagy karriert. Így a német és a magyar gyártmányok közötti legnagyobb különbség az eltérő motorok voltak. A magyar változatokba épített DB605B motorok 80 lóerővel erősebbek voltak az eredeti német DB 601F-től, valamint a magyar Me 210 példányok a Me 109G háromágú VDM légszavarját is megkapták [2]. A plusz lóerők bizony jól jöttek az alapvetően nagy felületi terhelésű és erősen mechanizált szárnykialakítású repülőgépnek. A 12 hengeres függő V elrendezésű, 60°-os hengerszögű WM DB 605-ös motorok 2300-as fordulathánál 1075, 2800-as fordulathánál pedig 1475 LE-t tudtak leadni. Ez a teljesítmény a MW 50-es metanolvíz befecskendező rendszer bekapcsolásával rövid időre 1650LE-re volt emelhető és két percen keresztül volt tartható. A motor furat-lökete 154x160 mm, lökettérfogata 35,7 l, kompresszióviszonya 7,5:1, tömege 725 kg volt [13]. Mindkét hengerfejen egy-egy vezérműtengelyt helyeztek el, hengerenként két szívó és két kipufogó szeleppel. A szelepvezérlés himbákkal történt. A szelepszárak a magas kipufogógáz-hőmérséklet elviselése érdekében nátriummal voltak töltve. Hengerenként két árnyékolt gyújtógyertyát alkalmaztak. A tüzelőanyag-befecskendező szivattyú Bosch-rendszerű, befecskendezési nyomása 270 kg/cm² volt. Az önműködő töltőnyomás szabályozással rendelkező motor a centrifugálkompresszoros magassági légsűrítővel 5700 m magasságig lényegében a teljesítmény csökkenése nélkül üzemelhetett. A kompresszor egyfokozatú centrifugál rendszerű, fordulatszámának változtatását önműködő barometrikus szabályozású kettős hidraulikus kapcsoló végezte, amely az áttételt 7,5÷10,2 között módosítja a motorterheléstől, fordulatszámától, az olaj hőmérsékletétől és a repülési magasságtól függően. A töltőnyomás felszállásnál és szükség teljesítménynél 1,42 atmoszféra volt. A forgattyúházat egy darab sziluminból öntötték. A dugattyúk anyaga kovácsolt könnyűfém volt [14]. A WM DB 605-ös motorok gyártása azonban hasonló problémákat mutatott, mint amivel a sárkányok gyártása során szembesültek. Folyamatosak voltak a gyártási nehézségek, csúszások. Az államközi szerződésben meghatározottak szerint az első motoroknak 1942 augusztusában kellett volna elkészülniük, ami azonban csak októberre sikerült [7]. A magyar mérnökök végül hat végrehajtandó fejlesztést javasoltak a motor gyártása során, ezeket a német fél mind elfogadta.



4. ábra Gépágyúval és nem irányított rakétákkal felszerelt nehézvadász változat

A gyártási nehézségek mellett a típus újszerűségéből adódóan repüléstechnikai problémák is adódtak. A korántsem jóindulatú repülőgép ugyanis komoly hosszstabilitási problémákkal küzdött, amelynek megoldására német tervek alapján a magyar változatok törzsét meghosszabbították. Ez a változtatás jótékonyan érintette a felszállás során tapasztalható repülési tulajdonságokat is. Köztudottan a Me 109-es és annak különösen a G és a K változata kitörésre hajlamos volt a gázadás során. A közös motor és légesavar miatt ez a probléma az első német gyártmányú „rövid törzsű” Me 210-esen is fellépett, ami elsősorban magára a nagy tömegű VDM légesavarra, valamint a légesavarok forgási síkjának súlyponthoz képesti kedvezőtlen elhelyezkedésére vezethető vissza. A törzs meghosszabbításával a függőleges vezérsík távolabb került a légesavarok forgási síkjának vonalától, aminek jótékony aerodinamikai hatásán túl az oldalkormányt is jobban lehetett használni a kitörés megállítására. A törzs meghosszabbítása azonban súlyponti problémákat eredményezett, ezért a szárnyak további kismértékű (4° -os) hátranyílására volt szükség [6]. A változtatások ellenére a „hosszú törzsű” Me 210-es még mindig egy nagy odafigyelést igénylő, repüléstechnikai szempontból igényes repülőgép maradt. A problémamentes rendszeresítés és a balesetmentes kiképzés érdekében az RKI meghatározta a típusátképzéshez szükséges követelményeket is. Me 210-el való kiképzésre csak olyan személyek voltak vezényelhetők, akik rendelkeztek Ju-87-re típusvizsgálattal, volt kétmotoros jogosításuk, továbbá zuhanóbombázó és műszerrepülő kiképzésük [6]. Az intézet pilótáinak óvatossága érthető volt, hiszen a Me 210-es fel- és leszálló tulajdonságai olyan jellegűek voltak, amelyhez hasonló típussal nem rendelkezett a Királyi Légierő. Külön megszokást igényelt a fékszárny használata, amelynek óvatlan becsukása azonnali átesést eredményezett, így még átstartolás után is a minimális becsukási magasságot 150 méteres magasságban határozták meg.

A típus további jellegzetessége volt, hogy komplex páncélvédettséggel rendelkezett, amely összesen huszonhét kisebb-nagyobb, többségében 5 mm-es páncéllemezből állt, védve ezzel a motorház-mellsőrészt, az olajkarter előrenéző részét, az olajhűtők alsó és felső felületeit és az oda vezető csöveket, a fülke orr-részt, illetve a pilótaülést és a pilóta, illetve a megfigyelő ülése

mögötti felületeket, emellett néhány fontosabb berendezést. A pilóta előtt páncélüveget helyeztek el. Az üzemanyagtartályok öntömítő kivitelben készültek. A két motornak és a kiterjedt páncélzatnak köszönhetően rendelkezett a szárazföldi csapatok támogatásához szükséges megfelelő szintű túlélőképességgel. A magyar változaton a törzs meghosszabbítása mellett a repülési paraméterek további javulását okozta a sorozatban gyártott példányok esetén pedig az alsó páncélozás elhagyása, amely komoly súlycsökkenést eredményezett.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Me 210-es repülőgéppel a Királyi Légierő pilótái végigharcolták a háborút, sokrétű alkalmazásuk mellett bevetéseik során 13 légyőzelmet is elértek. Utolsó jelentős bevetésüket 1945. március 20.-án repülték [1]. A megmaradt repülőgépeket az ausztriai Pandorf-ban gyűjtötták fel [1][2][4]. Az eléggő repülőgépekkel nem csak egy történelmi, hanem egy jelentős ipartörténeti korszak is véget ért. Ugyanakkor a gyártás során elért eredmények még napjainkból visszatekintve is jelentősnek mondhatók. Összességében „1942-ben 1 db, 1943-ban 57 db, 1944-ben 214 db repülőgép épült meg, 1944. november 15-ig összesen 272 db, ebből 110-et a német, 160 db-ot a magyar légierő kapott meg. A magyar gépek Z.001-től Z.160-ig terjedő gépszámokat kaptak. 1944. november-decemberében a német Luftflotte-4 19 db magyar építésű Me 210 Ca-1 gépet még átadott a 102. gyorsbombázó osztálynak. Így összesen 179 db volt magyar használatban.”[11] A DB 605 motorok tekintetében a leggyártott mennyiség 1942-ben 10 db, 1943-ban mintegy 550 db, 1944 novemberéig 650 db, összesen mintegy 1200 db volt [13].

Minőségirányítás és biztosítás

A magyar gyártmányú Messerschmitt és DB 605 motorok jó minőségűek voltak, de hazai gyártásukra a németekénél több munkaórát kellett fordítani. Bár ebben az időszakban még nem létezett a mai értelemben vett részletesen meghatározott, adott problémákra eljárásrendeket kidolgozó minőségbiztosítási rendszer, mégis sikerült folyamatosan magas minőséget előállítani. A termelés során minden gyártási folyamatot szigorú ellenőrzés alatt tartottak, továbbá a beszállítóktól is megkövetelték a minőségi munkát. A RÁB (Repülő Átvételi Bizottság) következetes szigorúsággal végezte a repülőgépek átvételét, és ha nem megfelelőnek ítélte meg egy gépet, azt azonnal visszaküldte javításra. Az elkészült repülőgépek jó minőségének az oka a lelkiismeretes és kiválóan képzett szakemberállományban és a vállalat saját, önálló minőségellenőrzésében, valamint az alapos berepülésben keresendő.

Vállalatszervezés és irányítás

A Messerschmitt 210-es repülőgép gyártása, rendszerbeállítása és fejlesztése új típusú vállalatirányítási módszereket követelt. A több helyszínen egymástól függetlenül szigorú ütemezéssel végrehajtott termelési tevékenység nem tűrt el hibákat. A program kinevelte azt a felső és középvezetői réteget, amely képes volt a modern, hatékony termelésvezetésre és a kooperációra. Olyan humán erőforrás jött létre, amely képes volt önállóan gondolkodni, kis termelési egységekben tevékenykedni és jó problémamegoldó képességgel rendelkezett. Ezeknek a szakembereknek a tapasztalatait kedvező politikai környezet esetén jól lehetett volna hasznosítani a háború utáni újjáépítésben, valamint a piaci és nemzeti érdekeknek megfelelő repülőgépipar létrehozása terén.

Multiplikátor-hatás

A Messerschmitt 210-es gyártásának bonyolultsága és a beszállítói környezet struktúrája az ágazaton túl is éreztette hatását, bár a háborús gazdaságpolitika miatt a nehézipar további résztvevői számára ez nehezen volt észrevehető. Amennyiben a háború Magyarország számára kedvezőbb feltételekkel ér véget, abban az esetben a gyártáshoz köthető multiplikátor-hatás jótékonyan érintette volna a háború utáni újjáépítést. Ez a hatás különösen jól érvényesült volna abban az esetben, ha a háború után Magyarországon nem kommunista típusú tervgazdaság, hanem piacgazdaság valósult volna meg. A magas műszaki tartalmat igénylő gyártás húzóágazat szerepét tölthette volna be a magyar ipar újjáépítése során.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BECZE CSABA Az aranyas nyomában. Püldo Kiadó, Budapest, 2008
- [2] KOVÁTS LAJOS A Dunai Repülőgépgyár története. M. Tört. Társ. Kiadó, Budapest, 1985
- [3] SÁRHIDI GYULA A Magyar Me 210 nehéz vadászgép, Repülés, MHSZ, XXVIII. Évfolyam 4. szám
- [4] PUNKA GYÖRGY Vadásznak nehéz, bombázónak könnyű, Aeromagazin, 2008. december
- [5] KOVÁTS GYULA Az utolsó Héja-légiharc a Donnánál, Haditechnika, XI.VII évfolyam 2. szám
- [6] WINKLER LÁSZLÓ A „210”-es - Repülőiparunk 1942 évi feltámadása, Magyar szárnyak, 1983. évi 16. sz. 85-91. o. és 1984. évi 17. sz. 36-44. o.
- [7] VAJDA FERENC ANTAL A WM DB 605 repülőgépmotor, Haditechnika, 1987/1
- [8] SÁRHIDI GYULA Modellezőknek, Messerschmitt Me-210 Ca-1 romboló repülőgép, Haditechnika, 1992. évi 1. szám
- [9] A Me. 210-es repülőgépből 36.M. 40 mm-es lgv. gépágyú beépítésével létesített nehéz vadászrepülőgép általános műszaki ismertetése Szabályzat
- [10] DR. BUDINCSEVITS ANDOR: Rádiólokátor fejlesztés Magyarországon a II. világháború időszakában
- [11] PUNKA GYÖRGY – SÁRHIDAI GYULA: Magyar sasok. A Magyar Királyi Honvéd Légierő 1920-1945. K. u. K. Kiadó, Budapest, 2006.
- [12] M. SZABÓ MIKLÓS A Magyar Királyi Honvéd Légierő elméleti – technikai – szervezeti fejlődése és háborús alkalmazása 1938-1945. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1999. 76. o.
- [13] VAJDA FERENC ANTAL: A DB 605 repülőgépmotor Haditechnika, 1987 évi 1. sz. 32-33. o.
- [14] JUREK AURÉL: Belsőégésű motorok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1961. 536-541. o.
- [15] HAJDÚ FERENC – SÁRHIDAI GYULA: A Magyar Királyi Honvéd Haditechnikai Intézettől a HM Technológiai Hivatalig. HM Technológiai Hivatal, Budapest, 2005. 68. o.
- [16] Nowarra, Heinz J.: Die Deutsche Luftrüstung 1933-1945. - Vol.4. Bernard & Graefe Verlag. 1988. Koblenz

Számel Bence Domonkos¹ – Szabó Géza²

LÉGTÉRKAPACITÁS SZÁMÍTÁS ELMÉLETI MODELLEK ALAPJÁN³

A légiközlekedés biztonsága részben az alkalmazott műszaki rendszerek biztonságán, részben az alkalmazott szabályrendszer megfelelőségén és alkalmazhatóságán, de jelentős részben a légiközlekedés szervezésében, lebonyolításában részt vevő szakemberek helyes viselkedésén (szakértelem, szakképzettség, adott szituációban való cselekvőképesség stb.) múlik. A humán tényező szerepe, az emberi hibák modellezése és kiküszöbölési lehetőségeinek feltárása fontos kutatási irány. Cikkünkben a légiforgalmi irányítás (ATC) optimális munkaterhelésén alapuló légtérkapacitás-számításra mutatunk be két módszert, a neurális hálón alapuló megközelítést és a geometriai megközelítést. Módszereink korábban már bevezetett módszerek adaptálásai a magyar légtérben való alkalmazás céljára. Bemutatjuk a számunkra optimális paraméterkészlet meghatározási módját és ennek validálását is, valamint elemezzük az általános alkalmazhatóság kérdését.

AIRSPACE CAPACITY ESTIMATION BASED ON THEORETICAL MODELS

The safety of air traffic is based on the safety of technological systems used as well as the adequacy and applicability of regulations, but it also depends strongly on the appropriate behaviour (expertise, qualification, situational ability to act etc.) of human experts involved in the management and operation of air traffic. The role of human factors, the modelling of human error and the exploration of methods to eliminate it are important areas of research. In this paper we present two methods to estimate airspace capacity based on optimal workload in Air Traffic Control (ATC). The first one is based on neural networks, while the other uses a geometric approach. The presented methods are adaptations of already existing methods and our aim is applying them to the airspace of Hungary. We describe the way of defining the optimal set of parameters and its validation and analyse the possibility of general application.

1. A LÉGTÉRKAPACITÁS-SZÁMÍTÁS SZEREPE A LÉGI KÖZLEKEDÉS BIZTONSÁGÁBAN

A légi közlekedés biztonsága (vagy repülésbiztonság) az [1]-ben megadott definíció szerint a levegőben történő mozgás során, a komplex emberi és műszaki tevékenység eredményeként létrejött, az adott körülmények között optimális működőképesség, illetve e működőképesség megtartásának valószínűsége. A légi közlekedés biztonságát egyaránt meghatározzák az abban részt vevő műszaki rendszerek, emberek és az ezek működését befolyásoló környezeti tényezők. A műszaki rendszerekhez a repülőgépek és a hozzájuk tartozó fedélzeti hardver és szoftver mellett hozzátartoznak többek között a légiforgalmi irányítás (vagy tágabb értelemben légiforgalom szervezés) eszközei is. A műszaki rendszerek biztonságra gyakorolt hatását befolyásolja az eszközök minősége, ami a tervezés és gyártás során alakul ki, és megbízhatósága, amit részben a tervezés és kivitelezés, részben az ellenőrzés és karbantartás minősége, illetve az ezekre vonatkozó előírások határoznak meg.

¹ okl. közlekedésmérnök, PhD hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék, szamel.bence@mail.bme.hu

² okl. villamosmérnök, PhD, egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék, szabo.geza@mail.bme.hu

³ Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

A légi közlekedés szervezésében és lebonyolításában részt vevő emberek szintén hatással vannak a rendszer biztonságára, amely hatás részben a képzés és tapasztalat útján szerzett szakértelmüktől függ, részben pedig attól, mennyire alkalmasak feladatuk ellátására az adott szituációban. Természetesen a humán biztonság is kézben tartható, menedzselhető, bár módszerei talán kevésbé egzaktak, mint a műszaki biztonság eszközei. A humán biztonság kezelésének legfontosabb eszközei a biztonságmenedzsment rendszerek (Safety Management Systems [2][3][4])

A személyzet egy adott szituációban értelmezett feladat-végrehajtásra való alkalmasságát a környezetből származó tényezők határozzák meg, amelyek közül légiforgalmi irányítók esetében az egyik legfontosabb a munkaterhelés. A munkaterhelés biztonságos szinten tartása érdekében vezették be évtizedekkel ezelőtt a légterek szektorokra osztását, ezzel lehetővé téve, hogy ugyanazt a forgalmat több irányító kezelje. A szektorok nyitásával és zárásával kapcsolatos előírások ugyanakkor még napjainkban is tapasztalati úton meghatározott légijárműszámokon alapulnak, miközben a munkaterhelést – ahogyan látni fogjuk – más tényezők is befolyásolják.

A szolgálatban lévő irányítók munkaterhelésének optimális vagy ahhoz közeli szinten tartása érdekében indokolt a légiforgalmi szektorkapacitás nagy pontosságú meghatározása és előrebecslése. Az irányító munkaterhelése alatt azt az időtartamot kell érteni, melyet egy adott intervallumon (pl. 1 óra) belül az irányítással kapcsolatos tevékenységekre (ide értve az információszerezést, a helyzetértékelést valamint a tervek készítését és végrehajtását [5]) fordít [11]. A munkaterhelés számszerű leírására általában nem ezen időtartam abszolút hosszát, hanem a teljes intervallumhoz viszonyított százalékos arányát használják. Ha például egy irányító egy órából 30 percet tölt az irányításhoz közvetlenül kapcsolódó tevékenységgel, akkor 50%-os munkaterhelésről beszélhetünk. A munkaterhelés lehetséges szintjeit és a hozzájuk tartozó százalékos és (1 órára vonatkozóan) percben mért értékeket mutatja be az 1. táblázat.

Tartomány	Értelmezés	1 órára eső munkával töltött idő
≥ 70%	Túlterhelés	≥ 42 perc
54–69%	Magas terhelés	32–41 perc
30– 53%	Közepes terhelés	18–31 perc
18–29%	Alacsony terhelés	11–17 perc
0–17%	Nagyon alacsony terhelés	0–10 perc

1. táblázat Munkaterhelési tartományok

A munkaterhelés mértéke összefüggésben áll az irányítói hibák számával és ezáltal a repülésbiztonsági szempontból nem megengedhető események (elkülönítési minimumok sérülése) számával is, ezt az összefüggést azonban ezidáig nem sikerült egyértelműen, számszerűen leírni. Elsőre kézenfekvőnek tűnhet azt gondolni, hogy a nagyobb munkaterhelés több hibához vezet és egyes korábbi kutatásokban sikerült is ilyen jellegű összefüggést kimutatni (ilyen például M. Grossberg 1989-es tanulmánya, melyben Chicago távolkörzeti légtérét vizsgálta és statisztikailag szignifikáns kapcsolatot talált az akkori definíció szerint értelmezett komplexitás és a hibák száma között [6]). Más tanulmányokból (például P. Stager és D. Hameluck 1990-ben megjelent, a légiforgalmi irányítás ergonómiájával foglalkozó publikációjából [7]) ugyanakkor az derül ki, hogy a legtöbb hiba közepes komplexitású (és ezáltal közepes munkaterhelést jelentő) szekto-

rokban figyelhető meg. Ebből azonban nem következtethetünk egyértelműen arra, hogy a magasabb munkaterhelés nem vezet több hibához, mivel elképzelhető, hogy a kutatás azért szolgáltatott ilyen eredményeket, mert lényegesen több adat áll rendelkezésre alacsony vagy közepes komplexitású és munkaterhelésű szektorokról, mivel a szektorok az idő nagy részében közepes vagy alacsony komplexitással üzemelnek. Emiatt lehetséges, hogy bár időegység alatt a közepes terhelésű szektorokban kevesebbet hibáznak az irányítók, mint a magas munkaterhelésűekben, összességében több lesz a közepes terhelésű szektorokhoz tartozó hibaszám annak köszönhetően, hogy az irányítók hosszabb ideig dolgoznak közepes terhelésű szektorokban. Ehhez hasonló következtetésre jut M. D. Rodgers, R. H. Mogford és L. S. Mogford 1998-as cikkében, melyben a szektorok tulajdonságai és az irányítói hibák közötti kapcsolatot próbálják feltárni és azt állítják, hogy a magas munkaterhelés és a gyakoribb hibázás között logikai kapcsolat van, mivel a nagyobb mértékben terhelt irányító könnyebben hibázik [8].

A fenti szerzők feltevése valóban logikus, de irányítói hibák és ezekből fakadó események megfigyelhetőek határozottan alacsony munkaterhelést jelentő szektorokban is, amire szintén létezik észszerű magyarázat. Valószínűleg részben itt is a nagyobb adatmennyiség torzító hatása érvényesül, mivel egy átlagos és jól szervezett légtérben az alacsony komplexitású szektorok hasonló gyakorisággal fordulnak elő, mint a közepes komplexitásúak és csak a magas komplexitás ritka. Emellett azonban az is lehetséges, hogy az irányítói hibák bekövetkezésének valószínűsége nagyobb, ha a munkaterhelés mértéke nem ér el egy bizonyos minimális szintet. Ennek oka részben az lehet, hogy túlzottan alacsony munkaterhelés esetén az irányítók kevésbé érzik fontosnak, hogy minden feladatukat a forgalom figyelésére (valamint az ehhez kapcsolódó döntések kidolgozására és végrehajtására) fordítsák, így könnyebben elvonhatják figyelmüket a feladatról különböző környezeti vagy belső eredetű zavaró hatások. További problémát jelenthet az alacsony munkaterheléshez kapcsolódóan az, hogy bizonyos légiforgalmi irányítói körzetekben (például Budapest APP⁴ körzetében) az érvényben lévő eljárásrendben az előírt szabványos repülési (indulási és érkezési) útvonalak csak ajánlás szintjén szerepelnek, vagyis az irányítók nem kötelesek minden helyzetben ezeknek megfelelően mozgatni a légi járműveket. Ez gyakran arra ösztönzi az irányítókat, hogy a hatékonyság érdekében kisebb forgalmú szituációkban repülőgépeket térítsenek át a szabványos útvonalokról rövidebb útvonalakra. A szabványos útvonalat elhagyó repülőgép azonban az elhagyást követően folyamatos figyelmet és vektorálást igényel az irányító részéről, ami munkaterhelés többletet jelent az egyébként alacsony komplexitású szituációban.

A fentiek alapján tehát látható, hogy a légiközlekedés biztonsága érdekében mind a túlzottan magas, mind a túlzottan alacsony munkaterheléssel járó szituációkat kerülni kell, azaz fontos, hogy megfelelő pontossággal előre lehessen becsülni, mikor lesz egy szektor komplexitása túl magas vagy túl alacsony és ennek megfelelően előbbi esetben több részre kell osztani, utóbbiban pedig valamely szomszédos szektorral össze kell vonni a szóban forgó szektort. Minél pontosabb a komplexitás előrebecslésére szolgáló módszer, annál rövidebb időközönként lehetséges a szektorkonfiguráció változtatása, ami által rövidebbek lesznek az optimálistól eltérő munkaterheléssel járó időszakok. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a konfigurációváltások kö-

⁴ Approach Control, Bevezető Irányítás

zött eltelő idő nem csökkenthető minden határon túl, mivel az új szektor nyitása vagy a szektorok összevonása önmagában is terhelésnövekedést jelent, ugyanis mindkét esetben van olyan irányító, akinek rövid idő alatt teljesen új forgalmi helyzetet kell értelmeznie.

2. LÉGTÉRKAPACITÁS-SZÁMÍTÁSI MODELLEK

A magyar légtérre két különböző modelltípus szektorkapacitás-számításban történő használhatóságát vizsgáltuk, melyek jellegzetességeit az alábbiakban foglaljuk össze.

Az egyik lehetőség a komplexitás és az irányítói munkaterhelés kapcsolatának leírására a neurális hálós modellezés. Ezzel foglalkozik többek között D. Gianazza és K. Guittet a komplexitás becslésének lehetőségeiről szóló tanulmányában [10]. A kutatásban a lehetséges komplexitási tényezők közül azokat vették figyelembe, melyeket korábban Kopardekar és Magyarits [12]-ben lényeges tényezőként azonosított. A kutatást 5 francia ATC központra végezték el, melyek radaradataiból és környezeti adataiból egy nap minden egész percében mintát vettek. Az adott napon 103 elemi szektort vagy szektorkombinációt alkalmaztak, melyek mindegyikére minden percben kiszámították a komplexitást és feljegyezték a szektor állapotát (egyesítve, önálló, osztva). Az adatok 60%-át a neurális háló tanítására használták, a többi 40%-ot pedig a háló tesztelésére. A komplexitási tényezők számának csökkentésére főkomponens elemzést használtak, melynek eredményeként 6 főkomponens adódott a következő mérhető értékekhez kapcsolódóan: repülőgépek száma, sebesség vagy magasságváltások, bejövő áramlatok, összetartó áramlatok és konfliktusok előrejelezhetősége, széttartó áramlatok, függőleges elkülönítési minimum közeli állapotok. A modellezéshez háromrétegű előrecsatolt neurális hálót használtak. A háló bemeneti rétegében a neuronok számát a figyelembe vett komplexitási tényezőknek megfelelően változtatták, a rejtett réteg 15, a kimeneti réteg pedig 3 neuront tartalmazott, melyek mindegyike egy-egy szektorállapotnak felelt meg. A háló egyenlete a következő volt:

$$y_k = \Psi \left(\sum_{j=1}^q w_{jk} \Phi \left(\sum_{i=1}^p w_{ij} x_i + w_{0j} \right) + w_{0k} \right) \quad (1)$$

ahol Φ az aktiváló függvényt (mely jelen esetben a logisztikai függvény):

$$\Phi(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (2)$$

, Ψ az átviteli függvényt (ebben az esetben):

$$\Psi(z_k) = \frac{e^{z_k}}{\sum_{m=1}^C e^{z_m}} \quad (3)$$

x_i a komplexitási tényezők értékeit, w_{ij} és w_{jk} a hozzájuk tartozó súlyszámokat, w_{0j} és w_{0k} pedig a hibát jelöli. A súlyszámok és a hibák értéke a tanítás során határozható meg. Miután elvégezték a háló tanítását és tesztelését különböző számú komplexitási tényezővel, arra jutottak, hogy

a háló az első négy főkomponens használata esetén már az esetek több mint 80 %-ában a valószínűségnek megfelelő eredményt szolgáltat, az érték pedig nem növelhető számottevően további tényezők figyelembe vételével.

D. Delahaye és S. Puechmorel olyan lehetséges megközelítéseket mutat be a légit forgalom komplexitásának meghatározására, melyek figyelembe veszik a forgalom belső rendezetlenségét (entrópiáját) [9]. A repülőgépek sebességének rendezetlenségének számítására általános esetben kézenfekvő lenne a statisztikai alapú entrópiaszámítás, a nagy rendezetlenségű helyek azonosítására pedig a wavelet transzformáció, ezek a módszerek azonban csak elegendően nagy minta (esetünkben repülőgépszám) esetén szolgáltatnak kielégítő eredményt. Ugyanakkor a vizsgált szektorokban egyszerre megtalálható, legfeljebb 30–40 repülőgép esetén is valószínű eredményt szolgáltat a geometriai alapú és a Kolmogorov-entrópián alapuló megközelítés. A geometriai megközelítés alapja a repülőgépek egymáshoz viszonyított helyzete és sebessége az egyes időpillanatokban. A módszer alkalmazásának végeredménye egy 3 dimenziós koordináta-rendszer, melyben pontsorozatok jelképezik az egyes forgalmi helyzetek komplexitását. A koordináta-rendszer egyik tengelyén a sűrűség jelenik meg, ami a modellben exponenciálisan függ a többi repülőgép adott repülőgéptől mért távolságától adott pillanatban. A sűrűség fogalma alatt jelen esetben nem a forgalomsűrűséget kell érteni (ami a járatszámhoz hasonló jelentéstartalommal bíró fogalom), hanem egy olyan tényezőt, ami a járatok adott szektoron belüli térbeni elrendeződéséről hordoz információt, vagyis a forgalom egyenletes vagy sűrűsödési helyekre tömörülő jellegére lehet belőle következtetni. A sűrűség kiszámítása az alábbi képlet segítségével történik:

$$Dens(i) = 1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N e^{-\alpha \frac{\|\bar{d}_{ij}\|}{R}} \quad (4)$$

ahol N az összes repülőgép száma a vizsgált szektorban, $\|\bar{d}_{ij}\|$ az i . és j . repülőgép távolságvektorának nagyságát kifejező norma, α súlyozó tényező, R pedig a járat vizsgált környezetének sugara.

A második tengely az egymáshoz viszonyított sebességet ábrázolja, más szóval a forgalom divergenciáját (pozitív oldal) és konvergenciáját (negatív oldal). A divergencia és a konvergencia kiszámítására az alábbi két képlet szolgál (az i . és j . repülőgép vonatkozásában):

$$Div(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \left| \frac{d\|\bar{d}_{ij}\|}{dt} \right| \cdot \mathbf{1}_{R^+} \left\{ \frac{d\|\bar{d}_{ij}\|}{dt} \right\} e^{-\alpha \frac{\|\bar{d}_{ij}\|}{R}} \quad (5)$$

$$Conv(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \left| \frac{d\|\bar{d}_{ij}\|}{dt} \right| \cdot \mathbf{1}_{R^-} \left\{ \frac{d\|\bar{d}_{ij}\|}{dt} \right\} e^{-\alpha \frac{\|\bar{d}_{ij}\|}{R}} \quad (6)$$

Az (5) és (6) képletben szereplő $\mathbf{1}_{R^+}$ és $\mathbf{1}_{R^-}$ a valós számok pozitív és negatív részhalmazára vonatkozó karakterisztikus függvény, melynek értéke 1, ha az argumentumban szereplő szám eleme a részhalmaznak és 0, ha nem.

A harmadik tengely azt reprezentálja, hogy a távolságváltozás mennyire érzéketlen a sebesség és a haladási irány változására (ami a gyakorlatban azt fejezi ki, mennyire tudja a légitforgalmi irányítás befolyásolni a forgalom komplexitását). Az érzéketlenség az érzékenység reciprokaként áll elő, az érzékenység kiszámítása pedig a következő két képlettel történhet:

$$St_+(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \|\bar{\nabla}t_c\| \cdot \mathbf{1}_{R^+} \left\{ \frac{d\|\bar{d}_{ij}\|}{dt} \right\} e^{-\alpha \frac{\|\bar{d}_{ij}\|}{R}} \quad (7)$$

$$St_-(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \|\bar{\nabla}t_c\| \cdot \mathbf{1}_{R^-} \left\{ \frac{d\|\bar{d}_{ij}\|}{dt} \right\} e^{-\alpha \frac{\|\bar{d}_{ij}\|}{R}} \quad (8)$$

ahol:

$$\|\bar{\nabla}t_c\| = \left\| \begin{pmatrix} \|\bar{d}_{ij}\| \cdot \frac{\Delta v_x \sin(\theta_j) + \Delta v_y \cos(\theta_j)}{(\|\bar{v}_{ij}\|)^3} \\ \|\bar{d}_{ij}\| \cdot \frac{-\Delta v_x \sin(\theta_i) + \Delta v_y \cos(\theta_i)}{(\|\bar{v}_{ij}\|)^3} \\ \|\bar{d}_{ij}\| \cdot \frac{-\Delta v_x \cos(\theta_j) + \Delta v_y \sin(\theta_j)}{(\|\bar{v}_{ij}\|)^3} \\ \|\bar{d}_{ij}\| \cdot \frac{\Delta v_x \cos(\theta_i) - \Delta v_y \sin(\theta_i)}{(\|\bar{v}_{ij}\|)^3} \end{pmatrix} \right\| \quad (9)$$

v_x és v_y az adott irányban vett sebességkülönbség, θ pedig a földrajzi északi iránnyal bezárt szög.

A geometriai modell problémája, hogy csak időpillanatokra alkalmazható, így a forgalom dinamikáját csak korlátozottan veszi figyelembe. A másik módszer a forgalom múltbeli alakulását egy dinamikus rendszer állapotváltozásaként értelmezi és a rendszer topológiai entrópiáját használja a komplexitás kifejezésére. Mivel ezt a módszert jelen kutatás során nem használtuk, ezért részletekbe menő ismertetésétől eltekintünk.

3. A MODELLEK PARAMÉTEREZÉSE A MAGYAR LÉGTÉRRE

A modellek bemenő adatokkal történő ellátásához és validálásához szükséges adatok három csoportra oszthatóak, melyek a következők:

- a légtér szerkezetére vonatkozó statikus adatok (szektorhatárok, légterek, útvonalszerkezet);
- a forgalomra vonatkozó radaradatok;
- az irányítóktól származó szubjektív adatok a forgalmi szituációk komplexitásával és a komplexitási tényezők fontosságával kapcsolatban.

A szektorhatárokat és az útvonalszerkezetet leíró adatokhoz a Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék jóvoltából juthattunk hozzá. A tanszék az adatokat egy korábbi kutatás során a HungaroControlltól szerezte. Radaradatként két korábbi forgalmasnak számító nap (2012. július

29. és 2011. július 30.) adatait használhattuk kiegészítve néhány órányi forgalommal 2012. október 25-éről. Utóbbira azért volt szükség, mert a másik két nappal ellentétben ezekben az órákban nyitva volt néhány TRA⁵, így lehetőségünk volt ezeket is bevonni a modellbe.

A fogalmi szituációk komplexitását leíró tényezők kiválasztása a HungaroControl Zrt-nél operatív területen dolgozó szakemberek, valamint gyakorló irányítók és supervisorok megkérdezésével történt személyes interjúk, illetve az egyes tényezők munkaterhelésnövelő hatásának felmérésére szolgáló kérdőívek formájában. A kérdőívben az irányítóknak különböző tényezőket kellett értékelniük (1-től 5-ig terjedő skálán) aszerint, hogy mennyire játszik szerepet az adott tényező a munkaterhelésben, illetve mennyire gyakran változik jelentősen a tényező értéke. A felmérés alapján a 2. táblázatban felsorolt komplexitási tényezőket vettük figyelembe a neurális háló bemenő paramétereiként.

Jelölés	Jelentés
AcCnt	A szektorban tartózkodó járatok száma
AcCntCl	A szektorban tartózkodó emelkedő járatok száma
AcCntDesc	A szektorban tartózkodó süllyedő járatok száma
AcCntCl%	A szektorban tartózkodó emelkedő járatok aránya a szektor összes járatához viszonyítva (AcCntCl / AcCnt)
AcCntDesc%	A szektorban tartózkodó süllyedő járatok aránya a szektor összes járatához viszonyítva (AcCntDesc / AcCnt)
Dens	A szektorban tartózkodó járatokhoz tartozó átlagos sűrűség
SpdDev	A szektorban tartózkodó járatok sebességeinek szórása
Div	A szektorban tartózkodó járatok átlagos divergenciája
Conv	A szektorban tartózkodó járatok átlagos konvergenciája
InsPos	A szektorban tartózkodó járatok konvergenciájára vonatkozó érzéketlenség
InsNeg	A szektorban tartózkodó járatok divergenciájára vonatkozó érzéketlenség
ConfNo	A szektorban tartózkodó járatok között fennálló konfliktuslehetőségek összege
IntsctNo	A szektort keresztező szabványos útvonalak keresztezési pontjainak száma
Vol	A szektor "térfogata" (szabványos magassági szintek száma X alapterület)
FreeFLNo	A szektoron belüli szabad szabványos magassági szintek száma
TRANo	A szektoron belül (vagy szomszédos szektorban) nyitva lévő korlátozott légterek száma
TMAcl	A TMA ban tartózkodó emelkedő járatok száma

2. táblázat A modellekben használt komplexitási tényezők

Ahhoz, hogy a komplexitási tényezőket felhasználhassuk valamilyen matematikai modellben, szükség van azok jelentésének egzakt megfogalmazására (pl. mit értünk pontosan konfliktus alatt történeti forgalmi adatok esetén) és azok számszerű kifejezésére.

A légijárművek radaradataiból (a szükséges atalakítások elvégzését követően) a következő információk nyerhetők ki: a járat földrajzi pozíciója (szélességi és hosszúsági koordináta), repülési magassága-, iránya-, sebessége. Az, hogy az egyes repülőgépek az adott pillanatban mely szektorban helyezkednek el, a földrajzi pozíciójukra és a szektorhatárok földrajzi elhelyezkedésére vonatkozó adatok alapján „point-in-polygon” algoritmus használatával határozható meg.

⁵ Temporary Restricted Airspace, Időszakosan Korlátozott Légtér

Ezen adatokból (kiegészítve a szektorhatárok és szabványos útvonalak adataival) különféle számítások elvégzésével előállítható bármely, a 2. táblázatban bemutatott komplexitási tényező értéke. Az alábbiakban röviden bemutatjuk azon komplexitási tényező értékek meghatározását, melyek esetében nem triviális a tényező jelentése vagy a kiszámítás menete.

A forgalom geometriáját leíró komplexitási tényezők (Dens, Div, Conv, InsPos és InsNeg) kiszámítása a Delahaye és Puechmorel modelljében használt módon történt a 2. fejezetben ismertett képletek alapján. A tényezők teljes szektorra vonatkozó értékeit az egyes légi járművekre számított értékek összegeként kaptuk.

Ha a szektorkapacitás számítási modellt historikus adatokra alapozzuk – ahogyan azt jelen esetben is tesszük – akkor a forgalom konfliktusos jellegének számszerű leírása az egyik legnehezebb feladat. A probléma abból adódik, hogy a lehetséges konfliktusok döntő többségét az irányítók elhárítják még a tényleges konfliktus létrejötte előtt, így utólag nehéz eldönteni, hogy azért nem jött-e létre konfliktus, mert a forgalmi helyzet nem is hordozta magában annak lehetőségét vagy azért, mert az irányító időben észlelte és elhárította azt. Ezzel együtt lehetséges olyan számításokat végezni, melyekkel becslést adhatunk a forgalom konfliktusos jellegére. Az egyik ilyen lehetőség az, ha meghatározzuk egy adott forgalmi mintán belül azon járatpárok számát, melyek egymást keresztező útvonalon repülnek, útvonalaik metszéspontját pedig meghatározott rövid időn belül (pl. 15 perc), egymáshoz képest kis időkülönbséggel (pl. 5 perc) érik el (feltételezve, hogy sebességük, haladási irányuk és magasságuk addig nem változik). A neurális hálós modell paraméterezésekor erre az értékre a konfliktusok számaként hivatkozunk, valójában azonban nem a konfliktusok tényleges számát, hanem a forgalom konfliktusos jellegének mértékét mutatja.

A TRA-k számának meghatározásánál nem csak azokat érdemes figyelembe venni, amelyek a vizsgált szektor egyes részeit teszik korlátozottá, hanem azokat is, melyek a szomszédos szektorokat érintik, mivel ezek is hatással lehetnek az irányítók munkaterhelésére. A neurális hálós modell paraméterezése során a szomszédos szektorokat érintő különleges légterek száma 0,5-es szorzóval került be a TRANo tényezőbe.

Az előzőekben bemutatott számításokat a gyakorlatban egy .NET C# környezetben létrehozott program használatával hajtottuk végre. A számításokat minden forgalmi minta esetében elvégeztük a teljes légtérre, annak tíz elemi szektorára (WL, WM, WU, WH, WT, EL, EM, EU, EH, ET), valamint húsz, több elemi szektorból álló, de a teljes légteret nem lefedő légtérblokkokra (W, WLM, WLMU, WLMUH, WMU, WMUH, WMUHT, WUH, WUHT, WHT, E, ELM, ELMU, ELMUH, EMU, EMUH, EMUHT, EUH, EUHT, EHT). A neurális hálós modellben külön háló segítségével vizsgáltuk a teljes légtérre, az elemi szektorokra és a légtérblokkokra vonatkozó adatokat, mivel előbbi kettő csak kétféle állapotot vehet fel (a légteret nem lehet más szektorral összevonni, az elemi szektorokat pedig nem lehet osztani), míg utóbbiaknak három lehetséges állapotuk van.

Annak érdekében, hogy a modellben ne feltétlenül kelljen a vizsgált komplexitási tényezők számának megfelelő neuront létrehozni a háló bemeneti rétegén, a neurális hálós számítások elvégzése előtt érdemes főkomponens elemzést végezni az adathalmazon és a komplexitási tényezők helyett főkomponenseket használni bemeneti változóként. A főkomponens számítást R programnyelv használatával végeztük.

4. A NEURÁLIS HÁLÓS MODELL EREDMÉNYEI

A neurális hálós modellhez a háló tervezése tanítása és validálása a Neural Planner Software által fejlesztett EasyNN-plus nevű szoftver 16.0a verziójának használatával történt a 3. főfejezetben bemutatott módon meghatározott adatok felhasználásával. A modellezés során alapvetően a Gianazza és Guittet által használt elveket követtük [10], de mivel más légtérre készítettük a modellt, mások voltak a figyelembe vett komplexitási tényezők. További különbség volt, hogy a hálók kimeneti változóinak meghatározásánál nem a valóságban használt, hanem a megkérdezett supervisorok által optimálisnak talált szektorállapotokat vettük figyelembe. A háló bemenetét a szektorokhoz tartozó komplexitási tényezők értékei alkották, a kimenetet pedig a szektorok állapota, ami lehet osztott („split”), önállóan használt („armed”) vagy más szektorral összevont („merged”). A háló tanítása és a tanulás közbeni validálás során a kimenetek értéke 1 volt, ha az adott szektor az adott időpontban (forgalmi szituációban) az adott állapotban volt és 0, ha valamely más állapotban. A kimenetek közül tehát mindig pontosan egynek az értéke volt 1, a többié pedig 0. Tekintve, hogy a kimeneteken a tanításhoz használt adatok esetében csak kétféle érték szerepelt, lehetséges lett volna a kimeneti változók típusát valós szám helyett logikai típusúra választani, ez azonban a háló tesztelésekor hátrányt jelentett volna. Ez a hátrány abban nyilvánul meg, hogy míg a logikai változó csak igaz vagy hamis értéket vehetne fel, addig a valós változó a logikai igaznak megfelelő 1 és a hamisnak megfelelő 0 közötti értékeket is felveheti, aminek köszönhetően részletesebb információval szolgálhat arról, mit érdemes csinálni az adott szektorral az adott szituációban, mivel nem csak az derül ki belőle, hogy mi lenne a szektor optimális állapota, hanem az is, hogy mekkora valószínűséggel lesz ez az optimális állapot. Ha például egy több elemi szektorból álló (de a teljes légtérrel nem lefedő) légtérblokkot vizsgálunk, ami mindhárom fenti állapotot felveheti, a háló kimenetén pedig a „split” értékre 0,9, az „armed”-ra 0,09, a „merged”-re pedig 0,01 adódik, akkor a légtérblokkot szinte biztosan szét kell osztani. Ha azonban az értékek rendre 0,45, 0,43, 0,12-re adódnak, akkor már nem biztos, hogy a szektorbontás a legjobb megoldás (mivel figyelembe kell venni az új szektor nyitásából származó munkaterhelés növekedést, a vizsgált időpontot követő időszakban várható forgalmat, a szomszédos szektorok állapotát stb.). A logikai típusú kimeneteken ugyanakkor mindkét esetben egy igaz („split”) és két hamis („armed” és „merged”) érték jelenne meg, ezért érdemesebb valós értékeket használni, még akkor is, ha ez a háló lassabb tanulásával jár.

Mind a hálók tanításához, mind a helyes működésük ellenőrzéséhez elengedhetetlen az egyes forgalmi szituációkhoz tartozó optimális (a munkaterhelést befolyásoló tényezők alapján meghatározott) szektorkonfiguráció ismerete. Ennek meghatározásában a HungaroControl két supervisoroként dolgozó munkatársa volt segítségünkre, akik irányítói tapasztalattal is rendelkeztek. A velük töltött idő alatt megmutattuk nekik a vizsgált forgalmi szituációk radarképeit, ők pedig elmondták, szerintük hány irányító tudná az egyes szituációkat biztonságosan és hatékonyan kezelni. Válaszaik többségét részletesen indokolták, ami az előzetes felmérésen és a kérdőívben (ld. 3. fejezet) felül további információt nyújtott a komplexitási tényezők irányítói megítélésével kapcsolatban. Így kerülhetett be a számításba vett tényezők közé a TMA-ban tartózkodó emelkedő járatok száma. A beszélgetés során fontos volt tudatni a supervisorokkal, hogy bár a vizsgált szituációk a valóságban 30 perces eltérésekkel követték egymást, a kutatás szempontjából egymástól teljesen független helyzetekként tekintünk rájuk. Ez azért volt lényeges, mert a

gyakorlatban sokszor előfordul, hogy a forgalmi helyzet szektorok összevonását indokolná, a supervisor azonban nem ad erre irányuló utasítást, mivel a jövőbeni forgalom becsült alakulása alapján az összevont szektort rövid időn (10–20 perc) belül újra szét kellene osztani.

Teljes légtér

Mivel a főkomponens elemzés alapján a teljes légtér esetében négy főkomponens sajátértéke volt 1 felett, ezért az első hálónak négy bemenő változója volt, mivel pedig a teljes légtér nem vonható össze semmilyen más légtérrel, csak két kimenő változóra volt szükség (Split és Armed). Mivel a teljes légtér forgalma minden, a forgalomból vett mintában pontosan egyszer szerepel, ezért összesen 107 adatsor állt rendelkezésre, ami ezt írta le. A 107 forgalmi szituációból 65 adatait a háló tanításához, 21-ét a tanulás közbeni validáláshoz, a maradék 21-et pedig a tanulás utáni teszteléshez (lekérdezéshez) használtuk fel. A három csoport mindegyikében hasonló arányban voltak megtalálhatóak a „Split” és „Armed” állapotú szektorok (tanítási adatok: 65-ből 8 „Armed” (12,3%), validálási adatok: 21-ből 3 „Armed” (14,3%), lekérdezési adatok: 21-ből 3 „Armed” (14,3%).

A teljes légtérrel modellező első háló bemeneti rétege tehát négy neuronból állt, a kimeneti réteg két neuronból, a rejtett réteg pedig 8 neuronból, amik 32 élen keresztül kapcsolódtak a bemeneti réteghez és 16 éllel a kimeneti réteghez. A hálót ezen kezdeti feltételek beállítását követően az EasyNN-plus automatikusan tervezte meg. A háló tanítása alatt a szoftver 100 tanulási ciklusonként vizsgálta, hogy a 21 validálási rekordra a kimenő értékek hány százaléka van a kívánt értékhez képest $\pm 5\%$ -os eltérésen belül, a tanulás befejezésének feltétele pedig az volt, hogy ez 100% legyen. A feltétel 200 tanulási ciklust, azaz a második validálási ciklust követően teljesült.

A betanított hálót először a lekérdezési adatokkal teszteltük, az eredmények pedig 21 esetben (18 „Split” és 3 „Armed”), azaz az esetek 100%-ában megfeleltek az elvárt értékeknek. A tanítási adatokkal történő teszteléskor hasonlóan pontos eredmények születtek: 65 esetből (57 „Split”, 8 „Armed”) 65-re az elvárt kimeneti érték adódott (pontosan vagy kerekítve).

Mivel a 15 főkomponens közül mindössze négy felhasználásával is maximális pontosságú eredmények adódtak, nem tűnt szükségesnek a bemeneten ennél több (például a korábban tervezett 7 vagy 15) főkomponens használata. Indokolt volt ugyanakkor a háló lehetséges további egyszerűsítésének érdekében megvizsgálni a működést ennél kevesebb bemeneti neuronnal. A vizsgálatot végre lehetett volna hajtani a főkomponensek számának folyamatos csökkentésével, de egyszerűbbnek tűnt előbb igénybe venni az EasyNN-plus azon funkcióját, mely az élekhöz tartozó súlyszámok alapján megmutatja, melyik bemeneti tényező milyen mértékben befolyásolja a kimenetet. Ez alapján (a várakozásoknak megfelelően) PC1 volt a domináns bemeneti változó, amihez képest a többi három jelentősége elhanyagolható volt, vagyis a következő vizsgált háló már csak egy bemeneti neuront tartalmazott. A kimeneti rétegben továbbra is két neuron volt, míg a rejtett réteg a bemenetihez hasonlóan egyszerűsödött és mindössze két neuront tartalmazott. A lekérdezési adatokkal tesztelve az új hálót az előzőhöz hasonló, 100%-osan pontos eredmények adódtak, a tanítási adatokkal történő tesztelésnél pedig 65-ből csak egy esetben volt eltérés (98,5%-os pontosság).

A teljes légtérre vonatkozó eredmények a 3. táblázatban láthatóak. A táblázatban a validáláshoz használt adatok oszlopban Q jelöli a háló számára addig ismeretlen lekérdezési adatokat, T

pedig a tanításhoz használt adatokat. Az oszlop megnevezésében szereplő validálás szó itt a tanulást követő „manuális” validálást jelenti és nem a tanulási közben a háló által automatikusan végzett validálást.

Főkomponensek száma	Validálási adatok	Összes állapot					
		Összes	Helyes	Helyes%			
1	Q	21	21	100			
1	T	65	64	98,46			
4	Q	21	21	100			
4	T	65	65	100			
		Split			Armed		
		Összes	Helyes	Helyes%	Össz	Helyes	Helyes%
1	Q	18	18	100	3	3	100
1	T	57	56	98,25	8	8	100
4	Q	18	18	100	3	3	100
4	T	57	57	100	8	8	100

3. táblázat A neurális hálós modell eredményei a teljes légtérre

Ahhoz, hogy ellenőrizhessük a főkomponensek bemeneti változóként való használatának létjogosultságát (bár ez a fenti eredmények alapján aligha kérdőjelezhető meg), valamint, hogy bemutassak egy lehetséges másik megközelítést, az EasyNN-plus segítségével terveztünk a teljes légtérhez egy harmadik hálót is, ami az eredeti változókat használja a bemeneti rétegében. Ez a háló a változók számának megfelelően 15 bemeneti neuronnal (itt legfeljebb az irányítók szubjektív véleménye alapján lehet előzetes képünk a változók súlyát illetően, ezért nem hagyhatunk el változókat), 30 rejtett neuronnal és 2 kimeneti neuronnal rendelkezett. A háló eredményeinek pontossága nem volt ugyan rossz (a lekérdezési adatok használatakor 21-ből 18 (86%), a tanításhoz használt adatoknál pedig 65-ből 63 (97%) helyes eredmény született), de ezek eléréséhez nagyobb bemeneti rétegre (azaz bonyolultabb hálóra) volt szükség, mint a főkomponensek használatakor.

Elemi szektorok

A magyar légtérben jelenleg összesen 10 elemi szektor értelmezhető, vagyis 107 forgalmi mintavétel esetén 1070 olyan rekord adódik, aminek az adatai egy-egy elemi szektor forgalmának komplexitását írják le. A neurális hálós modellezéshez a teljes légtérnél látottakhoz hasonlóan itt is három csoportra kellett osztani az adatokat. A tanítási adatok közé 643 (44 „Armed”, 599 „Merged”), a validálási adatok közé 198 (14 „Armed”, 184 „Merged”), a lekérdezési adatok közé pedig 229 rekord került (16 „Armed”, 213 „Merged”). Megfigyelhető, hogy az „Armed” és a „Merged” szektorok egymáshoz viszonyított száma itt is közelítőleg egyenlő az egyes csoportokban.

Bemeneti változóként kezdetben 6 főkomponenssel érdemes a hálót megtervezni. Az első háló bemeneti rétegében 6, rejtett rétegében 12, kimeneti rétegében pedig 2 neuron volt. A rejtett réteg neuronjai a bemeneti réteghez 72, a kimeneti réteghez pedig 24 élen keresztül kapcsolódtak, azaz a hálót 96 súlyozó tényezővel lehetett leírni. A tanítás során itt is a teljes légtérre tervezett hálónál látott feltételnek kellett teljesülni a tanulási folyamat befejeződéséhez, azaz a validálási adatok 100%-a esetében az elvárthoz képest $\pm 5\%$ -on belül kellett lenni a kimeneti értékeknek. A feltétel ezúttal is 200 tanulási ciklus után teljesült.

Amikor a tesztelés lekérdezési adatok segítségével történt, a 229 esetből 217 alkalommal (az esetek 94,8%-ában) volt egyezés az elvárt és a modell által szolgáltatott kimeneti értékek között. Az „Armed” állapotúra várt szektorokra 16-ból 11 esetben (68,8%), míg a „Merged” állapotúakra 213-ból 206-szor (96,7%) adódott helyes eredmény. Ennél érthető módon kis mértékben jobbák voltak az eredmények akkor, amikor a tesztelést a tanításhoz is használt adatokkal végeztük el. Ekkor az összes esetet tekintve 95,8%-ban, az „Armed” szektorok esetében 79,5%-ban, a „Merged” szektorok esetében pedig 97%-ban adódott a várakozásoknak megfelelő eredmény. Az összes esetet tekintve tehát mindkét tesztelés során 90% felett volt a pontosság, vagyis a modell ez alapján pontosnak tekinthető már 6 főkomponens használata mellett is, a teljes pontosságot azonban a jóval nagyobb elemszám miatt elsősorban a „Merged” szektorokra vonatkozó pontosság határozza meg és kicsi benne a szerepe az „Armed” szektoroknak. Utóbbiakra láthatóan pontatlanabb eredmények adódtak ez azonban valószínűleg nem a modell hibája, hanem a modell validálásához használt adatoké. Gyakran előfordul ugyanis, hogy egy elemi szektorhoz a szektor forgalma alapján nem lenne indokolt külön irányítókat rendelni, a szomszédos elemi szektorok, illetve légtérblokkok forgalma miatt azonban nem lehet az adott szektort egy másikkal sem összevonni. Vannak tehát olyan esetek, amikor egy elméletileg „Merged” állapotú szektor a valóságban „Armed” állapotú, mivel pedig a modell validálásához valóságos szektorállapotokat használtunk, az ilyenek rontják a modell pontosságát.

Bár a pontosság 6 főkomponens esetében is kielégítő, érdemes megvizsgálni, milyen mértékben lehet javítani további főkomponensek bevonásával. Legyen a következő háló bemeneti rétegében 10 neuron, amik az első 10 főkomponensnek felelnek meg. A rejtett réteget az eddigi logikát követve alkossa kétszer ennyi, azaz 20 neuron, a kimeneti réteg pedig álljon változatlanul 2 neuronból. A neuronok között ilyenkor összesen 240 súlyozott kapcsolat áll fenn. Az így létrehozott háló tanulásának kilépési feltétele továbbra sem változott az előzőekhez képest és ismét elég volt 200 ciklus a teljesüléséhez.

A háló tesztelése során mind a lekérdezési, mind a tanítási adatok használatakor kismértékű javulás mutatkozott a pontosságban. Előbbiekre az összes esetből 219-ben adódott jó eredmény (95,6%), amik közül 9 (56,25%) az „Armed” szektorokra, 210 (98,6%) pedig a „Merged” szektorokra vonatkozott. Utóbbiaknál az „Armed” szektorokra 36 (81,8%), a „Merged” szektorokra pedig 588 (98,2%) helyes eredmény adódott, vagyis az összes esetet tekintve 624-szer (97%-ban) felelt meg az eredmény a várakozásoknak. A tanítási adatoknál az értékek külön-külön is mind javultak, a lekérdezési adatoknál azonban az „Armed” szektoroknál pontatlanabbnak tűnik a modell, mint a korábbi, ami 6 főkomponenst használt. A csökkenés egyik lehetséges oka az „Armed” szektorokra vonatkozó fentebb ismertetett probléma, ami gyakrabban vezethet pontatlansághoz, ha a modell részletesebb számításokat végez, mivel ilyenkor könnyebben észlelheti az elméletileg nem megfelelő állapotú szektorokat. A másik lehetséges ok a modellben rejlő hiba, ami ugyan az EasyNN-plus elemzése szerint csak 1% körül van, de ez 229 elemre átlagosan 2–3 esetben vezet eltéréshez, amik közül ha 2 egy-egy „Armed” szektor esetében jut érvényre, akkor bekövetkezhet a fenti csökkenés (ahogyan az is lehetséges, hogy a korábbi jobb eredmény volt hibának köszönhető).

További enyhe javulás mutatkozott a pontosságban a harmadik neurális háló esetében, aminek a bemeneti rétegében mind a 17 főkomponensnek megfelelt egy-egy neuron. A háló belső rétege 34 neuronból állt, a neuronok közti kapcsolatok száma pedig 646 volt. A tanítás a korábbi

feltétel mellett a korábbi ciklusszámmal ment végbe. A lekérdezési adatok közül mindössze nyolcnál adódott a várakozással ellentétes kimeneti érték (vagyis az esetek 96,5%-ában helyes volt az eredmény). Ezek közül 7 az „Armed”, 1 pedig a „Merged” szektoroknál volt megfigyelhető, azaz előbbiekre a pontosság nem javult a korábbihoz képest, utóbbiakra azonban meghaladta a 99%-ot. A tanításhoz használt adatokkal való teszteléskor is hasonló volt a helyzet: az „Armed” szektorokra továbbra is 36 helyes érték adódott (81,8%), míg a „Merged” szektorokra javult a pontosság (593 helyes érték, azaz 99%), aminek következtében az összes esetre vonatkozóan is pontosabbak lettek az eredmények (629 pontos eredmény, 97,8%). Az elemi szektorokra adódó eredményeket a 4. táblázat szemlélteti.

4. táblázat A neurális hálós modell eredményei elemi szektorokra

Légtérblokkok

A légtérblokkok vizsgálata a teljes légtérhez és az elemi szektorokhoz képest nagyobb volumenű feladat volt részben, mert az ott látottaknál több volt a bemenő adat, részben pedig mert a kimeneti réteget alkotó három neuron miatt a neurális háló felépítése bonyolultabbá, tanulásuk pedig lassúbbá vált. A komplexitási tényezők kiszámítása után minden forgalmi szituációhoz 20 olyan rekord tartozott, ami egy-egy légtérblokknak felelt meg, mivel a W és az E szektorban is 10-10 légtérblokk hozható létre különféle magassági szektorbontások által, melyek a következők: W, WLM, WLMU, WLMUH, WMU, WMUH, WMUHT, WUH, WUHT, WHT, E, ELM, ELMU, ELMUH, EMU, EMUH, EMUHT, EUH, EUHT, EHT. A 107 forgalmi szituációnak köszönhetően tehát 2140 légtérblokkra vonatkozó rekord állt rendelkezésre, amelyek közül 1323-at a háló tanításához, 406-ot a tanulás közbeni validáláshoz, 411-et pedig a betanított háló teszteléséhez használtunk.

A légtérblokkokhoz kapcsolódó első hálóban hat főkomponenst vettünk figyelembe (mivel ennyinek a sajátértéke volt 1-nél nagyobb), ezért a bemeneti réteg hat neuronból állt. A rejtett réteg neuronszámának megválasztásakor továbbra is a korábban látott elvet követtük, azaz a bemeneti réteg neuronszámának kétszeresét (12) használtuk. A kimeneti réteget három neuron alkotta, mivel a légtérblokkokat egyaránt lehetséges szétosztani és összevonni más szektorokkal, vagyis lehetnek „Split”, „Armed” és „Merged” állapotúak is. A háló tanításakor a befejezés feltétele változatlanul a validáláshoz használt adatokra adódó eredmények várakozáshoz képest $\pm 5\%$ -on belül kerülése volt. A feltétel nem teljesült azon a 16 200 s-os (4,5 órás) időintervallumon belül, ami a tanulás maximális időtartamaként meg volt adva. A tanulás befejezésekor az EasyNN-plus statisztikai adatai szerint a validálási értékek 57,11%-a volt a megadott határon belül, ami rossz aránynak mondható. Az ez alapján valószínűsíthető megbízhatatlan működés ellenére elvégeztük a háló tesztelését lekérdezési adatokkal és a tanításhoz használt adatokkal is.

A 411 lekérdezési adatból 136-nál volt az elvárt kimeneti érték „Split”, 44-nél „Armed”, 231-nél pedig „Merged”. A „Split”-re várt kimenetek közül 93-ra (68,4%) adódott helyes eredmény, a „Merged”-re vártaknál 134-re (58%), az „Armed”-ra vártaknál pedig mindössze 2-re (4,5 %). Az összes érték közül 229 (55,7 %) volt helyes. A tanítási adatokkal való teszteléskor valamivel nagyobb pontosság volt tapasztalható. Itt az összes (1323) esetből 949-re (71,7%), a „Split” esetekből 398-ra (88,2%), a „Merged” esetekből 538-ra (77%), az „Armed” esetekből pedig 13-ra (7,5%) adódott pontos eredmény.

A szemmel láthatóan alacsony megbízhatóság miatt indokoltnak láttuk a figyelembe vett főkomponensek számának növelését a maximális 17-re. A 17 főkomponenssel működő háló rejtett rétege 34 neuront tartalmazott, a tanulás befejezésének feltétele változatlan volt és akárcsak az előző esetben, itt sem teljesült a megadott maximális tanulási időn (23 400 s) belül. Az így kapott eredmények csekély mértékű javulást mutattak a 6 főkomponenst használó háló eredményeihez képest, de az „Armed” szektorokhoz tartozó eredmények pontossága továbbra is nagyon alacsony volt (lekérdezési adatokra 44-ből 2 esetben (4,5%), tanításhoz használt adatokra 174-ből 14 esetben (8%) született helyes eredmény). A légtérblokkokhoz tartozó eredmények az 5. táblázatban láthatóak.

Főkomponensek száma	Validálási adatok	Összes állapot			Split		
		Összes	Helyes	Helyes%	Összes	Helyes	Helyes%
6	Q	411	229	55,72	136	93	68,38
6	T	1323	949	71,73	451	398	88,25
17	Q	411	235	57,18	136	95	69,85
17	T	1323	955	72,18	451	399	88,47
		Armed			Merged		
		Összes	Helyes	Helyes%	Összes	Helyes	Helyes%
6	Q	44	2	4,55	231	134	58,01
6	T	174	13	7,47	698	538	77,08
17	Q	44	2	4,55	231	138	59,74
17	T	174	14	8,05	698	542	77,65

5. táblázat A neurális hálós modell eredményei légtérblokkokra

A légtérblokkokhoz tervezett hálók által szolgáltatott eredmények megbízhatatlanságának több oka is lehet. Az, hogy az „Armed” szektorokra vonatkozóan pontatlanabbak az eredmények, mint a másik két szektorállapotra önmagában nem számít rendkívüli jelenségnek. Ugyanez figyelhető meg Gianazza és Guittet kutatásában is, akik azzal indokolják a jelenséget, hogy a hálónak ilyen esetben két, állapotok közti határvonalhoz viszonyítva kellene pontosan meghatároznia a szektorállapotot, míg a másik két esetben csak egyhez [10]. Ez azonban önmagában még nem ad magyarázatot az „Armed” értékek 10% alatti pontosságára. A további lehetséges okok egyike a háló tervezéséhez használt szoftver viszonylagos fejletlensége, ami nem teszi lehetővé a háló működését meghatározó logika (aktiváló és átviteli függvény, hálóegyenlet) módosítását. Elképzelhető tehát, hogy egy magasabb funkcionalitású hálótervező szoftverrel a függvények megfelelő megválasztása által nagyobb pontosság lenne elérhető.

Problémát jelenthet az is, hogy a különböző légtérblokkok felépítése nagyban eltérhet egymástól, a legkisebbek ugyanis két szektorból állnak, míg a legnagyobbak ötből. Ennek kiküszöbölésére két lehetőség kínálkozik. Az egyik az, hogy a [10]-ben bemutatott példát követve a szektorgeometriát elsődlegesen leíró komplexitási tényezőt (jelen esetben a szektor kiterjedését) nem vesszük figyelembe a főkomponens elemzésnél, hanem megtartjuk önálló változóként és így helyezzük rá a háló bemeneti rétegre, ezáltal nagyobb súlyt adva a szektorgeometriának a modellben. A másik lehetőség a légtérblokkok halmazának felbontása kisebb, kevésbé eltérő felépítésű légtérblokkokból álló csoportokra. Utóbbi lehetőség alkalmazhatóságának vizsgálata érdekében megvizsgáltuk a modell működését úgy, hogy az összes légtérblokk helyett csak a W és E légtérblokk (azaz a teljes nyugati és keleti szektort) adatait használtuk bemeneti változóként. A módosított modellhez természetesen szükség volt egy újabb főkomponens elemzésre is, melyben csak a két vizsgált légtérblokk változói szerepeltek.

Az elemzés alapján 5 főkomponens sajátértéke volt 1 felett, így az első háló bemeneti rétegét 5 neuron alkotta, de hasonlóan a többi háléhoz, ezt is teszteltük 17 főkomponenssel is. A háló általános paraméterei megegyeztek a korábban használtakkal és ezáltal teljesült a tanulás befejezésének feltétele is, igaz, ehhez a 17 főkomponenses háló esetében több, mint 3000 tanulási ciklusra volt szükség (az 5 főkomponenses hálóra már 400 ciklus után teljesült). A háló tanításához 132, a validálásához 40, a betanított háló teszteléséhez pedig 42 forgalmi szituáció adatait használtuk fel (továbbá ezt a hálót is teszteltük a tanításhoz használt adatokkal is). Az 5 főkomponenses hálóra a 42 lekérdezési adatból 34-nél (81%) helyes eredmény adódott. Ezek közül 22 a „Split” szektorokra (91,7%), 8 az „Armed” szektorokra (66,7%), 4 pedig a „Merged” szektorokra (66,7%) állt elő. Ennél is magasabb volt a pontosság a tanítási adatokkal való teszteléskor. Itt a 132 esetből 129-szer (97,7%) lett jó az eredmény, szektortípusonkénti bontásban pedig a „Split” és a „Merged” szektorokra 100%-os pontosság adódott, míg az „Armed” szektorokra 94,7% (38-ból 36). A várakozásoknak megfelelően tovább javult a pontosság 17 főkomponens bevonása esetén. A lekérdezési adatoknál mindössze egy „Armed” és egy „Merged” szektor esetében volt hibás az eredmény, azaz 42 esetből 40-szer (95,2%) pontos volt. A tanítási adatok esetében továbbra is 100%-os eredmény adódott a „Split” és „Merged” szektorokra, az „Armed” szektorokra pedig 92,1% (38-ból 35). A csak a W és E légtérblokkokhoz tartozó eredményeket a 6. táblázat mutatja

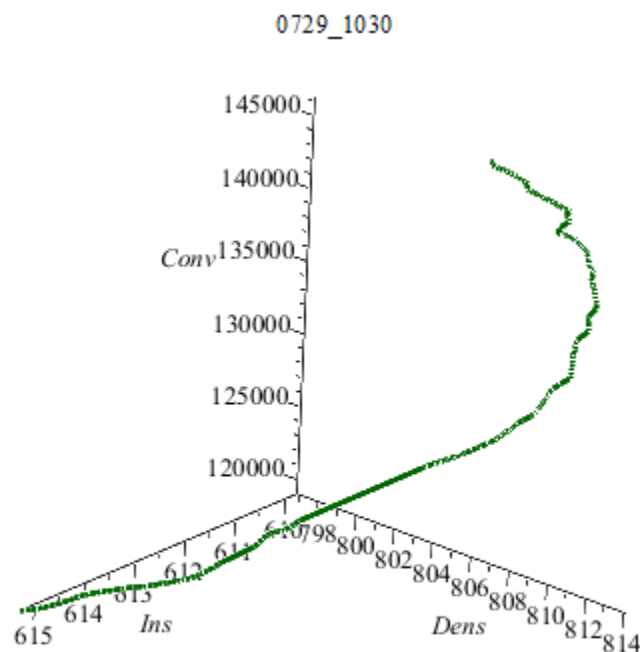
Főkomponensek száma	Validálási adatok	Összes állapot			Split		
		Összes	Helyes	Helyes%	Összes	Helyes	Helyes%
5	Q	42	34	80,95	24	22	91,67
5	T	132	130	98,48	77	77	100
17	Q	42	40	95,24	24	24	100
17	T	132	129	97,73	77	77	100
		Armed			Merged		
		Összes	Helyes	Helyes%	Összes	Helyes	Helyes%
5	Q	12	8	66,67	6	4	66,67
5	T	38	36	94,74	17	17	100
17	Q	12	11	91,67	6	5	83,33
17	T	38	35	92,11	17	17	100

6. táblázat A neurális hálós modell eredményei a W és E légtérblokkokra

5. A FORGALMI GEOMETRIÁN ALAPULÓ MODELL EREDMÉNYEI

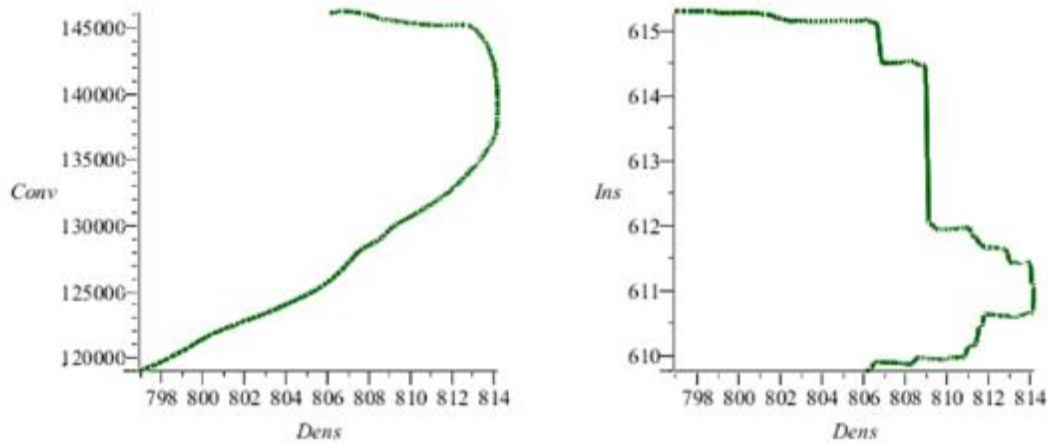
A forgalom geometriáján alapuló modell nem más, mint a forgalom geometriai eredetű komplexitásának egyfajta grafikus megjelenítése. A modell bemenő változóiként egy-egy forgalmi szituáció sűrűség, konvergencia és érzéketlenség értékei szolgálnak, de a neurális háló paraméterezésénél látottakkal ellentétben itt a teljes szituációra vonatkozó értékek számítanak és nem azok egy repülőgépre vonatkoztatott átlaga. Erre azért van szükség, mert a modell nem kezeli külön a repülőgépek számát, így azonban látens módon ez a tényező is bevihető a modellbe. A nagyobb szemléletesség érdekében a bemenő változók értékét nem egy, hanem több egymást követő időpillanatra érdemes meghatározni, majd az egymást követő állapotokat egy ábrában megjeleníteni. A különböző időpontokban adódó értékeket (az elsőt kivéve) nem a repülőgépek valós helyzete és sebessége határozza meg, hanem az első pillanatban felvett pozíció, sebesség

és haladási irány alapján állandó sebességet és irányt feltételezve extrapolálva kerülnek kiszámításra. Az értékek kiszámítása során a tapasztalatok azt mutatták, hogy a teljes légtérre vonatkozóan körülbelül 3 perc elteltével már minden szituációban folyamatos csökkenést mutat a konvergencia és az érzéketlenség is, vagyis ennél hosszabb intervallumot nem érdemes választani a vizsgálathoz. Fontos továbbá megjegyezni, hogy a modellben nem vesszük figyelembe a vizsgált idő alatt a légtérbe belépő járatokat, ezzel magyarázható, hogy egy ponton túl minden szituációban csökkenni kezd a konvergencia, az érzéketlenség és a sűrűség is (a fenti feltételek mellett egy idő után minden forgalmi helyzet széttartóvá válik. Az 1., 2. és 3. ábra egy aránylag nagy forgalmú szituációra (2012. 07. 29. 10:30) mutatja be a modell használatát. Az 1. és a 2. ábrán Delahaye és Puechmorel ötlete alapján [9] 3 dimenziós (sűrűség-konvergencia-érzéketlenség) koordináta-rendszerben látható a forgalom alakulása, míg a 3. ábra saját szerkesztés, ami a forgalmat leíró egyes pontok origótól mért távolságának időbeli alakulását mutatja. Az origótól mért távolság számításánál az egyes tengelyekhez tartozó tényezőknek nem a valós értékét vettük figyelembe, hanem annak egy maximálisnak tekintett értékkel történő osztás után előálló normált értékét. A maximálisnak tekintett érték a sűrűségnél 1000, a konvergenciánál 160 000, az érzéketlenségnél pedig 750 volt.

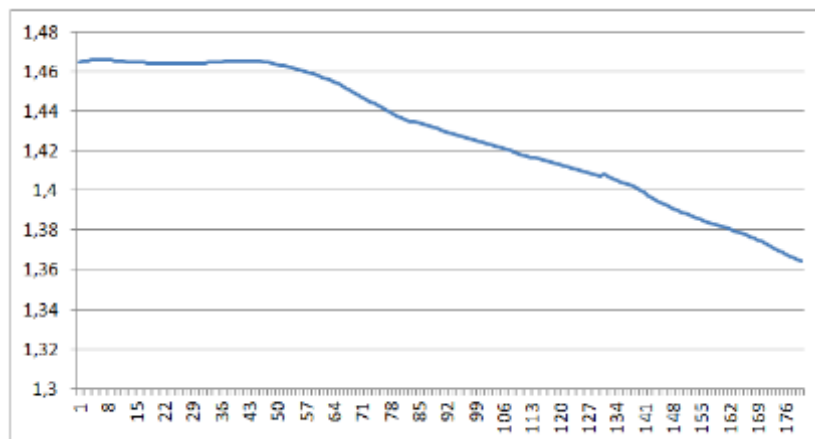


1. ábra Forgalmi komplexitáson alapuló modell használata általános forgalmi szituációra (3D grafikon)⁶

⁶ forrás: saját szerkesztés Maple 15 használatával [9] alapján



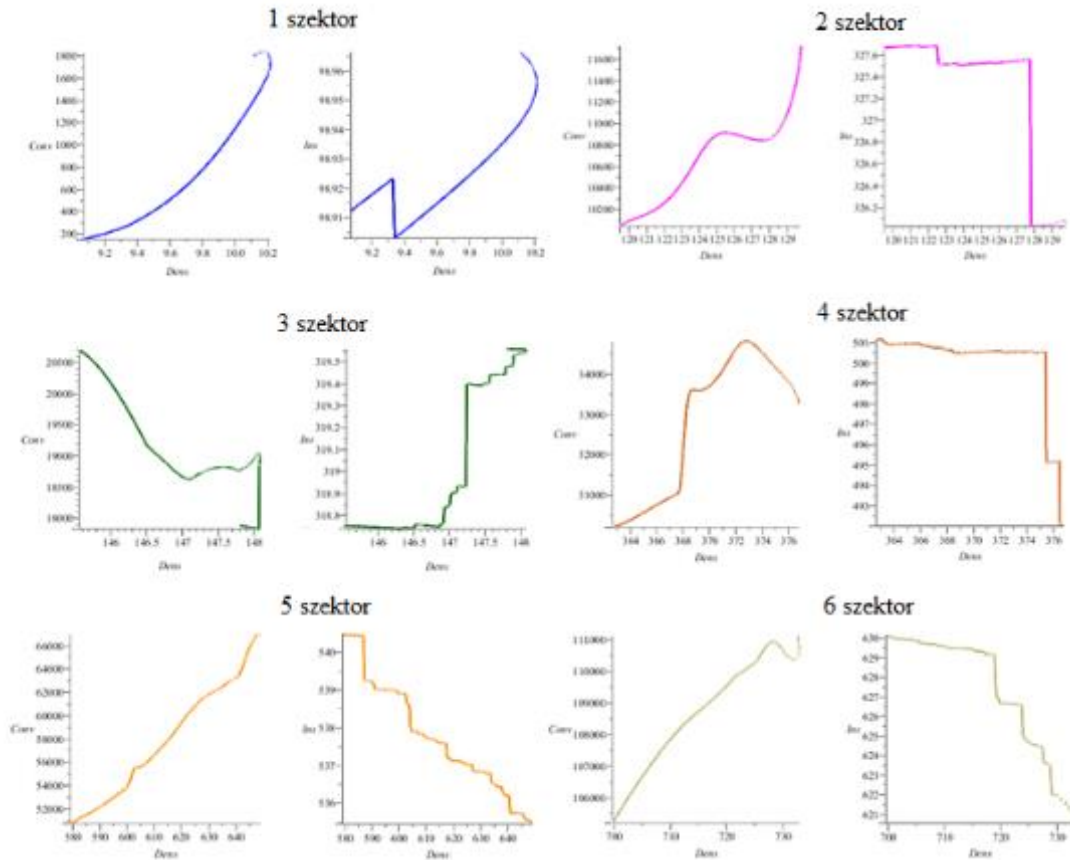
2. ábra Forgalmi komplexitáson alapuló modell használata általános forgalmi szituációra (sűrűség-konvergencia és sűrűség-érzékenység grafikon)⁷



3. ábra Forgalmi komplexitáson alapuló modell használata általános forgalmi szituációra (origótól számított normált távolság alakulása az idő függvényében; az időértékek másodpercben vannak megadva)

Az ábrák szemléletesek, de nem derül ki belőlük, mutatnak-e a modell eredményei összefüggést az adott szituációhoz tartozó optimális szektorszámmal, azaz a munkaterhelés mértékével. Ennek kiderítésére vizsgáljuk meg az eredményeket egy-egy szituációra, melyek 1, 2, 3, 4, 5, illetve 6 szektort igényelnek (4. ábra).

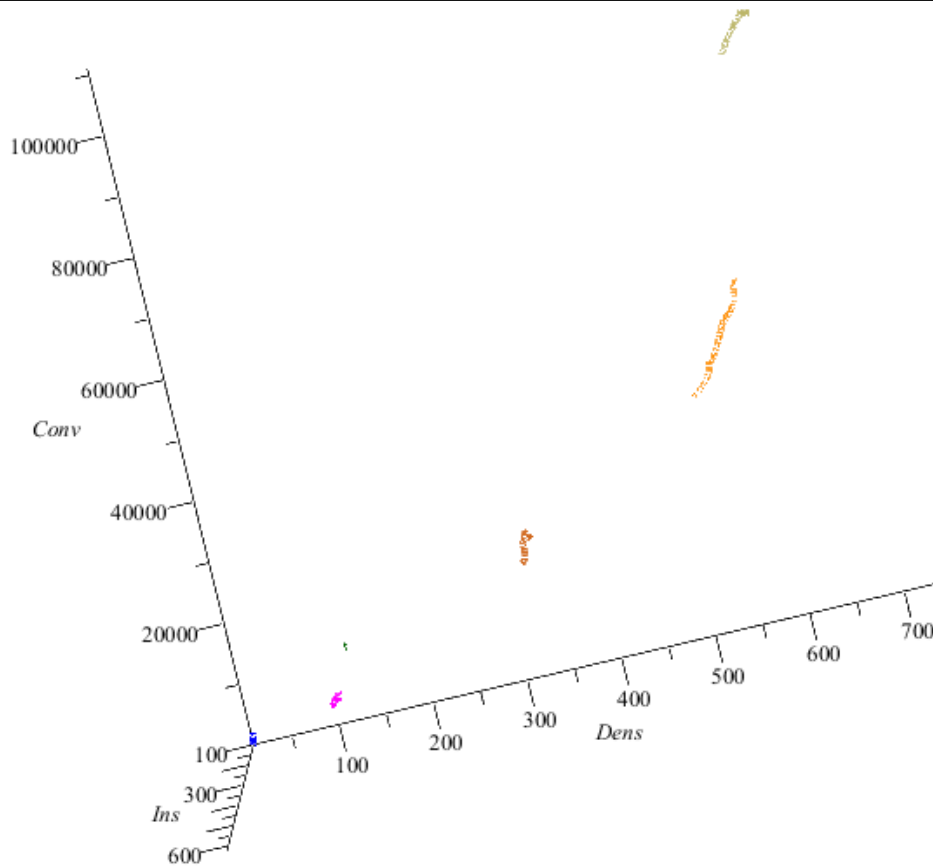
⁷ forrás: saját szerkesztés Maple 15 használatával [9] alapján



4. ábra Forgalmi komplexitáson alapuló modell eredményei különböző szektorszámot igénylő forgalmi szituációkra⁸

Az 5. ábrán a fenti 6 szituáció képe látható egy ábrába szerkesztve (az egyes görbék a korábbi-
val azonos színnel vannak jelölve).

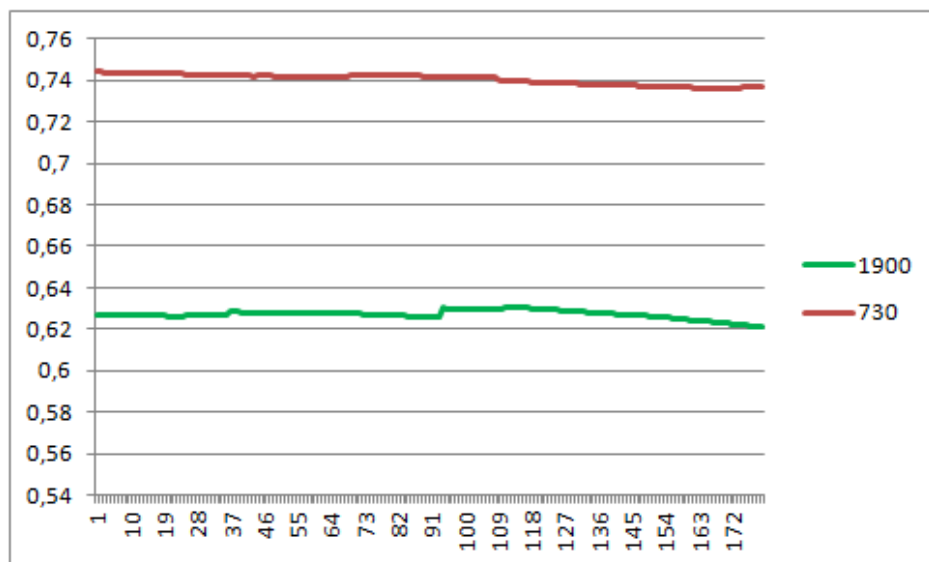
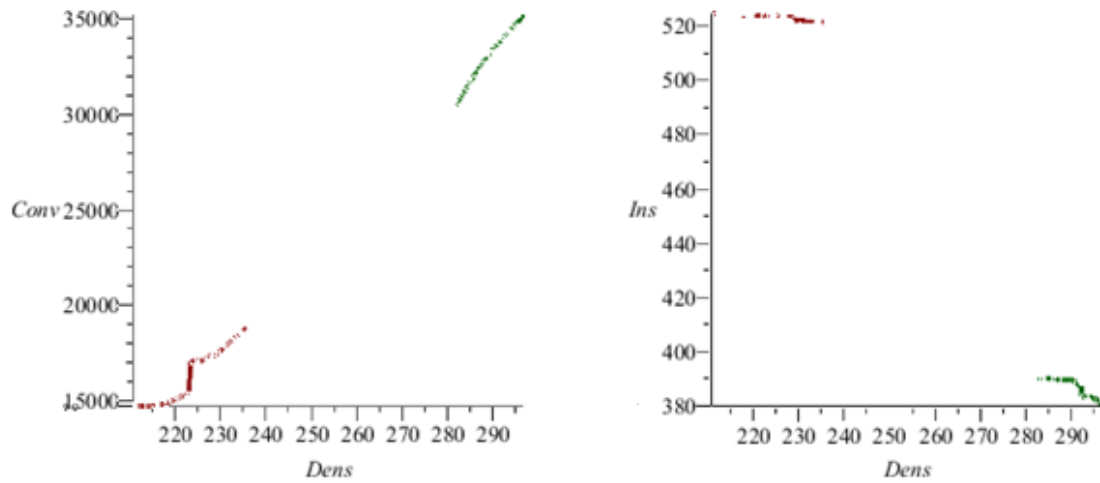
⁸ forrás: saját szerkesztés Maple 15 használatával [9] alapján



5. ábra 1, 2, 3, 4, 5 és 6 szektort igénylő forgalom sűrűség-konvergencia-érzéketlenség diagramja⁹

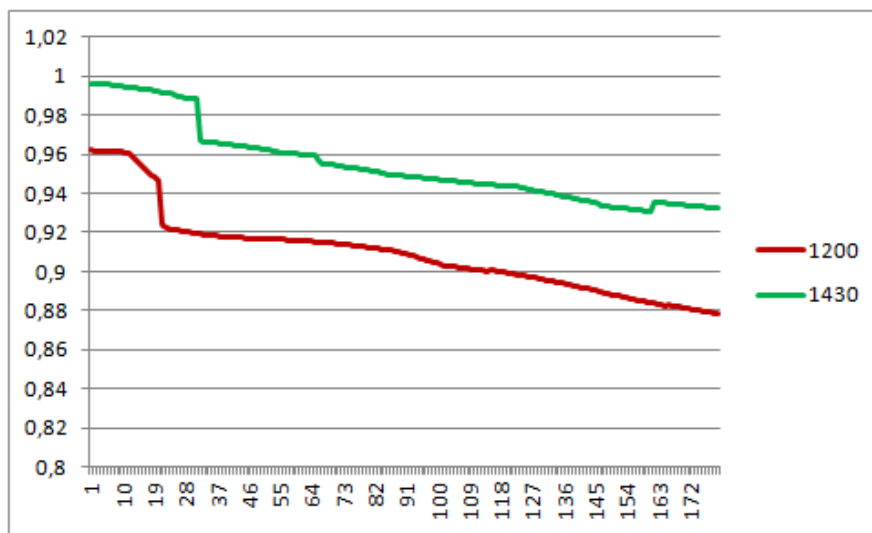
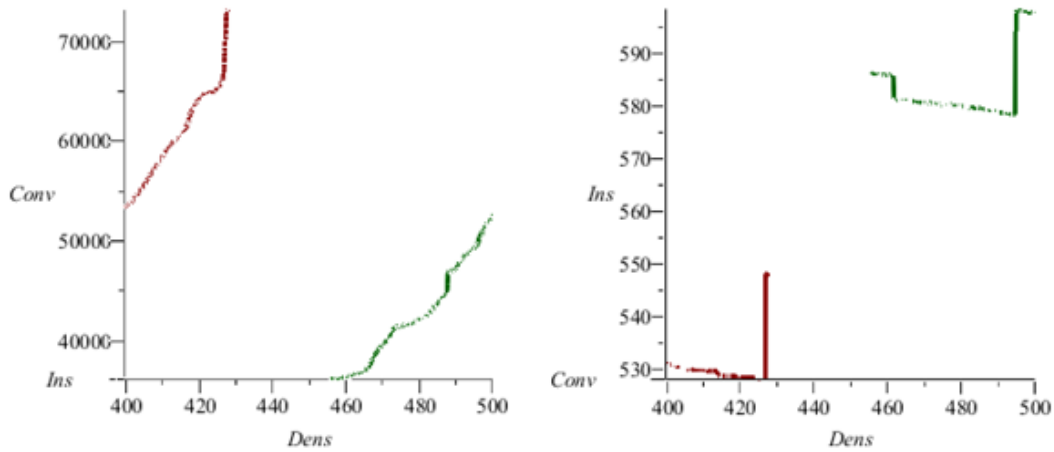
Az ábrán jól látható, hogy az egyes szituációknak megfelelő görbék az adott helyzethez tartozó optimális szektorszám növekedésével fokozatosan egyre távolabb helyezkednek el az origótól. Ez alapján úgy tűnik, a forgalom komplexitásának ilyen módon történő leírása jól reprezentálja a munkaterhelés mértékét és a koordinátarendszerben megfelelően elhelyezett ellipszoid felületekkel lehetne jelölni a szektornyitáshoz és –záráshoz tartozó értékhármassokat. Ne feledkezzünk azonban meg arról, hogy a munkaterhelés elsődleges meghatározója a járatok száma, ami a geometriai alapú modell által szolgáltatott eredményekben is nagy szerepet játszik és a sűrűség, a konvergencia és az érzéketlenség egyidejű növekedését ugyanúgy okozhatja a növekvő repülőgépszám, mint a forgalom komplexebbé válása. Meg kell tehát vizsgálni azt is, hogyan viselkedik a modell olyan szituációkban, amikor a járatok száma (közel) azonos, de a supervisorok szerinti optimális szektorszám különböző. Erre szolgált példát a 6. és 7. ábra. A 6. ábra két, egyaránt 34 repülőgépes szituációt mutat. Mindkét forgalmi helyzet 2011. 07. 30-áról való, de az egyik 19:00-kor állt fenn, amikor a supervisorok szerint 3 szektor volt az optimális, a másik pedig 07:30-kor, amikor 4. A 7. ábra a 2012. 07. 29. 14:30 körül és a 2011. 07. 30. 12:00 körül fennálló forgalmi helyzetet hasonlítja össze. Mindkét esetben 46 repülőgép volt a légtérben, de míg előbbihez 4, utóbbihoz 5 szektor volt ideális.

⁹ forrás: saját szerkesztés Maple 15 használatával [9] alapján



6. ábra Azonos repülőgépszámú (34), de különböző (19:00: 3, 07:30: 4) szektorszámot igénylő forgalom sűrűség-konvergencia, sűrűség-érzékenység és idő-origótól mért távolság diagramja¹⁰

¹⁰ forrás: saját szerkesztés Maple 15 használatával [9] alapján



7. ábra Azonos repülőgépszámú (46), de különböző (14:30: 4, 12:00: 5) szektorszámot igénylő forgalom sűrűség-konvergencia, sűrűség-érzékenység és idő-origótól mért távolság diagramja¹¹

Az első esetben a kétdimenziós ábrázolásból ugyan nem egyértelmű, hogy a több szektort igénylő szituáció geometriai komplexitása a nagyobb, de az origótól mért távolságot mutató ábra arra utal, hogy a nagyobb geometriai komplexitáshoz tartozik több szektor (azaz magasabb munkaterhelés). A második esetben ugyanakkor egyértelműen a kisebb szektorszámú szituáció forgalmi geometrián alapuló komplexitása a nagyobb. Ennek legvalószínűbb magyarázata az, hogy a modell által figyelembe nem vett komplexitási tényezők (például a magasságot váltó járatok száma, ami a 12:00-ás esetben 18 volt, a 14:30-asban pedig csak 13) miatt a supervisorok a nagyobb geometriai komplexitás ellenére is kevesebb szektort tartottak optimálisnak 14:30-ra, mint 12:00-ra. Az eddigiek alapján tehát kijelenthető, hogy a modell önállóan nem alkalmas az optimális szektorszám meghatározására, legalábbis a magyar légtérben nem, mivel itt az irányítók munkaterhelésében jelentős szerepet játszanak olyan tényezők, melyekkel a modell nem foglalkozik. Ezzel együtt elképzelhetőnek tartjuk a használatát egyfajta vizuális segédeszközként supervisorok számára, aminek használatával a várható forgalom komplexitásának egy részét figyelemmel tudnák kísérni.

¹¹ forrás: saját szerkesztés Maple 15 használatával [9] alapján

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A neurális hálós modell megbízhatóan működik, ha a teljes légteret vagy az elemi szektorokat modellezzük vele, azaz ha olyan szektorokra használjuk, melyeknek csak két lehetséges állapota van. Meglehetősen pontatlan ugyanakkor a három lehetséges állapottal rendelkező légtérblokkokra. A pontatlanság igazoltan csökkenthető, ha a modellt az összes légtérblokk helyett csak azoknak egy szektorgeometriai szempontból aránylag homogén részhalmazára készítjük el, ezzel azonban azt érzük el, hogy a légtérben létrehozható összes szektorra csak nagy mennyiségű háló együttes használatával lesz megbízható a modell. A probléma megoldására más lehetőségek is kínálkoznak, melyek alkalmazhatóságát jelen cikkben nem vizsgáltuk, a kutatás esetleges folytatása során azonban indokoltnak tartjuk a figyelembe vételüket. Ezek egyike a jelenleg használatnál professzionálisabb neurális-háló tervező szoftver beszerzése és alkalmazása a kutatásban szereplő adatokra. A másik lehetőség a szektorgeometria jelenleginél nagyobb súllyal történő bevonása a modellbe úgy, hogy további, ehhez kapcsolódó komplexitási tényezőket számítunk ki (pl. járatok szektorhatártól mért távolsága) vagy úgy, hogy a szektorgeometriai jellemzőket nem vonjuk be a főkomponens elemzésbe, hanem önálló bemenő változóként használjuk.

A forgalmi geometrián alapuló modell önmagában nem alkalmas a munkaterhelés, illetve az optimális szektorszám meghatározására, mivel túl sok olyan tényezőt hagy figyelmen kívül, melyek a magyar légtér viszonyai között nagy befolyással vannak az irányítók munkaterhelésére. Ezzel együtt a komplexitási tényezők egy részét jól összefoglalva és látványosan lehet a segítségével megjeleníteni, ami miatt elképzelhetőnek tartjuk a használatát egyfajta vizuális döntéstámogató segédeszközként supervisorok számára.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.-nek és a Magyar Közlekedési Mérnökképzésért Alapítványnak (AMKMA) a jelen cikkben bemutatott kutatómunka támogatásáért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ROHÁCS JÓZSEF – HORVÁTH ZSOLT CSABA A repülésbiztonság problémája és fejlesztési elvei. Repüléstudományi Közlemények, 2013/3, pp. 39-55
- [2] SCHVÁB ZOLTÁN Összehangolt biztonság a légiforgalmi irányításban. Közlekedéstudományi Szemle, 2013/63(5), pp. 45-49
- [3] KURUCZ MIHÁLY A repülésbiztonság megteremtésének feltételrendszere a légi navigációs szolgálatoknál. Közlekedéstudományi Szemle, 2013/63(5), pp. 51-56
- [4] SZABÓ GÉZA – SZABÓ KRISZTIÁN – ZERÉNYI ROLAND Safety Management Systems in Transportation: Aims and Solutions. Periodica Polytechnica – Transportation Engineering, 2004/32(1-2), pp. 123-134
- [5] PAWLAK, W. S. – BRINTON, C. S. – CROUCH, K. – LANCASTER, K. M. A framework for the evaluation of air traffic control complexity, AIAA national Conference, 1996
- [6] GROSSBERG, M. Relation of sector complexity to operational errors. Quarterly report of the Federal Aviation Administration's Office of Air Traffic Evaluations and Analysis, 1989
- [7] STAGER, P. – HAMELUCK, D. Ergonomics in air traffic control, Ergonomics 1990/33(4), pp. 493-499
- [8] RODGERS, M. D. – MOGFORD, R. H. – MOGFORD, L. S. The relationship of sector characteristics to operational errors, DOT/FAA/AM-98/14, 1998
- [9] DELAHAYE, D. – PUECHMOREL, S. Air traffic complexity: towards intrinsic metrics, Proceedings of the third USA/Europe Air Traffic Management R & D Seminar, 2000
- [10] GIANAZZA, D. – GUITTET, K. Evaluation of air traffic complexity metrics using neural networks and sector status, 2nd International Conference on Research in Air Transportation, 2006
- [11] FLYNN, G. M. – BENKOUAR, A. – CHRISTIEN, R. Adaptation of Workload Model by Optimisation Algorithms and Sector Capacity Assessment, EEC Note No. 07/05, 2005
- [12] KOPARDEKAR, P. – MAGYARITS, S. Measurement and prediction of dynamic density, The 5th USA/Europe Air Traffic Management R & D Seminar, 2003

Pintér István¹

AZ ÉRZELMI TUDATOSSÁG FEJLESZTÉSÉNEK STRATÉGIÁJA A MAGYAR HONVÉDSÉGBEN²

Az igénybevétellel párhuzamosan fokozatosan romlik a katonák környezet- és személyeszlelése, egyre inkább beszűkül számukra a világ, nő a belső feszültség, az ingerültség és a fáradtság erősen lerontja a kreativitás, a gyors reagálás lehetőségét. Az automatizmusok – a kiképzés során – a fáradásig, kimerültségig begyakorolt tevékenységek irányába viszik a reakciókat. Dr. Mráz István vezérőrnagy Kézikönyv az alegységparancsnokok vezetői képességeinek a fejlesztéséhez. Nyt. szám: 463/329

STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF EMOTIONAL AWARENESS IN HUNGARIAN DEFENCE FORCES

In parallel with the stress gradually deteriorating military environment and person detecting increasingly narrowed them to the world, increased internal tension, irritability and fatigue strongly degrades the creativity, the possibility of rapid response. Automatism - moved in the direction of the reactions of fatigue, exhaustion routine activities - during the training. Dr. István Mráz General-Major - Sub-unit's commander Handbook on the development of leadership abilities. Plc. No: 463/329

Az évezred elején a Honvéd Vezérkar Hadműveleti Csoportfőnökségen nagy energiákat fordítottak arra, hogy minél pontosabban kimunkálják a honvédség várható alkalmazásának szituációs tényezőit, hogy a katonák kiképzését ezekhez a kihívásokhoz alakíthassák. Ez akkor átfogta a tevékenységek teljes skáláját, és kiterjedt a struktúra egészére. Az ezzel kapcsolatos dokumentumok eljutottak a honvédség valamennyi alakulatához, és integráns részeivé váltak a kiképzésnek. Az eredmények magukért beszélnek. A magyar katonák kiképzését, helyállását elismerik a szövetségeseink is.

Az elmúlt évtizedben jelentős fejlődés zajlott az emberi magatartás kutatásának, és befolyásolásának a területén. Új lehetőségek adódnak a kiképzés hatékonyságának a növelésére. Az új lehetőség az Érzelmi Intelligenciafejlesztésnek (ÉI) a területén adódik. Azt pontosan tudjuk, hogy az ÉI az emberek közötti kommunikációt, a megértést és az együttműködést szolgálja. Működése az érzelmi kommunikációra épül. Azt már kevesebben tudják, hogy ennek rendszere az evolúcióban alakult ki. Az még kevésbé ismert, hogy az evolúció által kialakított egyéni döntéseinket is érzelmi programok irányítják.

Az emberi problémamegoldásnak két oldala van. Az egyik az intelligencia található, ami az akadémikus (értsd: tanult) ismeretekre épül. Ezt az iskolarendszeren fejleszthetjük, és különböző tesztekkel mérjük. Nyugodtan mondhatjuk azt is, hogy olyan egyéni kompetenciák rendszere, amit tanulás, és gyakorlás útján sajátítunk el. Erre épül a katonai kiképzés is. A másik oldalon az érzelmi intelligencia található, amit szocializációs folyamataink során sajátítunk el.

¹ Prof. Dr. Pintér István ny. ezredes, ipinterd@t-online.hu

² Lektorálta: Dr. Dunai Pál alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, dunai.pal@uni-nke.hu

Ezt lehetne tudatosabbá tenni. A kettő együttesen befolyásolja a tevékenységek hatékonyságát. A szervezeti folyamatok mindegyike csoportmunkára épül. Elsősorban ez indokolja felkészítés kiterjesztését az ÉI területére.

A honvédség, és a katonák a társadalom minden más tagjához képest különleges helyzetben vannak. Érzelmekkel telített problémákat kell megoldaniuk. Ez szakmailag mást jelent az egyes szakterületeken, de az biztos, hogy mindegyik magas belső feszültséggel jár, és a megoldandó feladatok egyedisége miatt nehéz a felkészülés célirányossá tétele. Akciókban a katonáknak pillanatok alatt kell döntenie. A szemtől szembeni érintkezés, és az ezekhez kapcsolódó kommunikációs folyamatok jelentik a harctevékenységek lényegét. A fő kérdés mindig azonosan kerül megfogalmazásra: az adott szituációban sikeres volt-e a környezeti hatások, és a társak megértése, illetve szándékaink, mások által történő megértetése. Ebben egy különleges, bennünk rejlő képességünk segít: a megérzés, és mások szándékainak a felismerése. A kérdés úgy merül fel, hogy a MA honvédsége elegendő felkészítést kap-e mindkét területen. Ebben a cikkben a kommunikáción keresztül az érzelmi problémamegoldásra hangolódunk rá.

A kommunikációnak óriási irodalma van. Létezik egy területe, amely alkalmanként említésre kerül, de kifejtése rendre elmarad. Az elméletekben csak nyomokban jelenik meg az érzelmi kommunikáció. Az irodalmak korlátozott mértékben adnak „jelentést” a nonverbális és a meta információknak. Mindent szituációban kell vizsgálni, és e szerint a kommunikációban alig 7 százalékban jelenik meg a verbalizálás, 25-30 százalékban a beszédhez kötődő vokalizálás, és ami ezen túl van, az a megközelítőleg 60 százaléknyi rész, a nonverbális kommunikációra esik. A problémával foglalkozni kell, mert a katonai tevékenységeket intenzív érzelmi folyamatok kísérik. Ezek bekapcsolása a szervezeti feladatokba jelentős mértékben növelné a feladat végrehajtás hatékonyságát.

A leírt hiátus tartalmi-módszertani megítéléséhez el kell mondani, hogy minden kommunikációs akció – a beszéd is - érzelmi programok által szabályozott. A felhasznált szavak is, és nem csupán a vokalizálás. Aki ismeri az érzelmek szabályzó szerepét, és működését gondolkodásához, problémamegoldásához illeszti, az sokkal több információt nyerhet ki minden kommunikációs akcióból, mint a feltételezései alapján sejtetheti. Az ezt szolgáló, érzelmi intelligencia, érzelmi tudatosság ugyanis különleges emberi képesség. Alkalmas a kommunikáció igaz, és hamis jeleinek a felderítésére, és ezen keresztül a szándékok felismerésére. Nem véletlen, hogy az ezt szolgáló tudományos kutatási eredmények első lépésben az Amerikai Biztonsági Szolgálatok munkájában jelentek meg gyanús elemek, terroristák vizuális felderítésre - nagy közösségi tereken, elsősorban repülőtereken, - és a személyvédelemben. Az erre kiképzett ügynökök a testbeszéd akaratlan jeleinek az ismeretében keresik a terroristákat, a bűnözőket és az ártó személyeket. Az sem véletlen, hogy a pszichológia olyan újítói, mint Paul Ekman, Wallace Friesen, és munkatársaik részt vettek az ügynökök ilyen irányú felkészítésében.[13][14] Az már csak adalék ehhez, hogy Amerikában testbeszéd leginkább elfogadott szakértője egy volt FBI ügynök, Joe Navarro.[11]

Nálunk más a helyzet. Aki Magyarországon, magyar nyelven hozzáférhető irodalmakra alapozza a nonverbális kommunikációról szóló ismereteit, óriási lemaradásban van. Nagyjából 25 évvel a tudomány mai állása mögött.



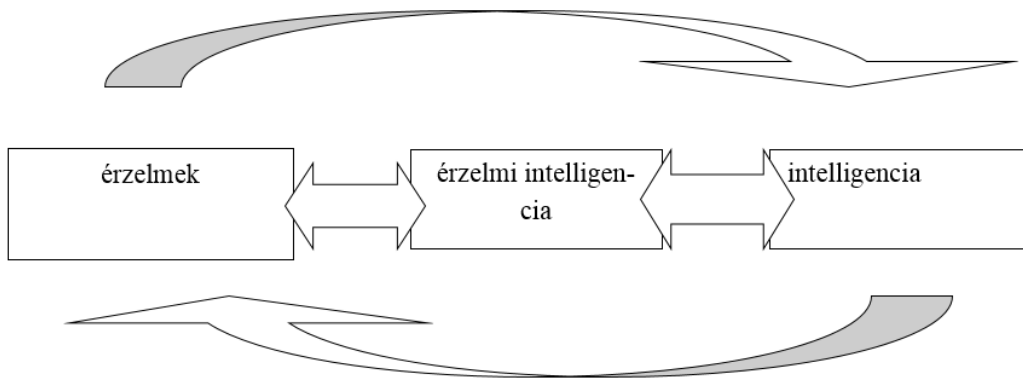
AZ ÉRZELMEKRŐL

Az evolúció folyamatában az érzelmeknek jól meghatározható funkciói alakultak ki, melyek az emberi problémamegoldás folyamatában aktív észesei a kommunikációnak, és a problémamegoldásnak. Az *alapérzelmek* a túlélést biztosítják. Életünk első szakaszában érzelmi kommunikációt folytatunk, amit mindenki megért, mert génjeinkbe kódolva léteznek. Ezek száma korlátozott: öröm harag, szomorúság, undor, meglepetés, félelem, bizalom, előérzet. Ezek sajátossága, hogy nincs bennük gondolkodási elem. Rendkívül gyorsak, intenzívek, és rövidek. Jól látható jeleik egyetemesek. Ez a túlélés egyik feltétele. A váratlan eseményekre a kiképzettség függvényében biztosítja gyors reagálást.

Az evolúció során kialakultak a *magasabb rendű érzelmek*, melyeket az emberi érintkezés során sajátítjuk el. Ezek az emberei csoportok együttműködését szolgálják. Gondolkodási elemeket is tartalmaznak. Azoknak az ismereteknek az organizálására épül, melyeket a kiképzés folyamatában, és az iskoláinkban sajátítottunk el. Időközben kialakult egy ellentmondás. A bonyolultabbá váló feladatok megoldása során az emberi érintkezésben az érzelmi kommunikáció egyre inkább háttérbe szorult, és tudatosságánál fogva előtérbe került a beszéd. Történt ez annak ellenére, hogy az érzelmi kommunikáció jelen van minden emberi érintkezésben, információ cserében, meta, és nonverbális jelben. Az érzelmek önálló jelentéssel bírnak, és más kommunikációs forrásokhoz kapcsolódva jelentős tartalommodosító hatásuk van. Nem véletlen – sőt természetes dolog - hogy az érzelmek észleléséből fakadó félreértések konfliktusforrásokká válnak. Az együttműködés, a megértés helyett a félreértésekből fakadó szembenállás alakul ki. A katonai tevékenységek háttérében mindig találunk érzelmi összetevőket. Ennek ellenére alig tudatosult az érzelmek szerepe, és funkciója a katonai tevékenységekben.

Az érzelmi kommunikációt szocializációs folyamatainkban sajátítjuk el. A család, a baráti kör, az iskolarendszer, a környezet, és számos más tényező együttes hatásaként. Ez az összetett rendszer formálja az érzelmi intelligencia fejlődését is. A leghétköznapibb „belátás” szerint is rendkívül differenciált módon.

Az érzelmi tudatosság, és az érzelmi intelligencia fejlődése végig kíséri életünket, és az itt megszerzett kompetenciák előnyt jelentenek számunkra az emberi érintkezésben, mások szándékainak felismerésében, a manipulációs kísérletek elhárításában, a közlés, a kommunikáció igazság tartalmának megítélésében, a hazugságok kivédésében. A szakirodalom azt jelzi, hogy a hasznosításban élen járnak a bűnüldöző szervek, és a titkosszolgálatok. Amerikában az állam nyilvánosan támogatja az egyetemeket, kutató intézeteket ilyen irányú munkájukat. Adott a feladat, és immár a lehetőségek is arra, hogy emberi oldalról is intenzíven fejlesszük a honvédség kommunikációs kultúráját. Ennek a lényege: Az érzelmekkel kapcsolatos tudományok fejlődési eredményeként *az érzelmekkel kapcsolatos ismeretek, és az érzelmi kommunikáció* tudatos rendszerezett beillesztése a szervezeti felkészítési rendszerbe.



1. ábra

AZ ÉRMELMI TUDATOSSÁG MŰKÖDÉSI MECHANIZMUSA

A program logikája a szándékok felismerésére irányul az evolúció ma is ható szabályainak megfelelően, ami tevékenységek közben létkérdéssé válhat a katonák számára, ugyanis csökken a reagálási időt, ami a túlélés érdekében rendkívül fontos tényező. Ha ez félreértésen alapszik, azzal támadásnak is kiszolgáltatathatja magát. Az emberi, és tegyük hozzá a katonai szervezeti életben is állandó kérdés a másik fél motivációinak, céljainak, szükségleteinek a felismerése és megértése, hogy tényleges magatartásunkat ehhez tudjuk illeszteni. Erről szól a feladattisztázás racionalizált rendszere. Ha az emberekben nem alakult volna ki ez a képesség, hamar a megtevesztés, az ártó szándékok áldozatává váltak volna. Vezetői munka, stratégia készítés e nélkül elképzelhetetlen

A szándékok megértése „köznap gondolatolvasásként”, genetikailag kódoltan, bennünk élő képesség, a verbális, és a nonverbális kommunikáció jelei közötti összhang vagy diszharmónia elemzésére épül. Az érmelmeknek oka, folyamata, és specifikus testi jelei vannak, melyek felismerhetők, és a kommunikáló szándékai ellenére elárulják valódi szándékait. Igaz ez a közösségi terekben történő mozgásra, igaz a közvetlen szemtől szembeni érintkezésben, és főleg igaz közelharc során.

Minden érmelmennek egy csak rá jellemző – várható magatartásbeli következménye van. Az undor megakadályozza, hogy számunkra káros ételt fogyasszunk. Haragunkkal távol tartunk másokat. Örömmelkkel vonzódásunkat fejezzük ki. És lehet folytatni a sort.

Magatartásunkat döntéseink sorozata szabályozza. Az „érmelmek és a döntések” kapcsolatának ismerete hozzásegít a partner várható elhatározásnak, és alternatíváinak a felfedéséhez. Az érmelmi programok és a döntések szimbiózisa az evolúcióra vezethető vissza. Ennek során kialakult az elme-test kapcsolat, amely a szituációkhoz történő alkalmazkodást hivatott szolgálni. Az érmelmi programok hatására elindulnak a standard válaszok, melyeket észlelési rendszerünk állandóan pontosít. Elménk olyan dolgokat is képes mérni, tapasztalati módon összehasonlítani, ami ma kívül esik a tudomány határán. Értékelhető különbséget észlelünk a testi érintkezés által kiváltott érmelmi hatások között is.

Elménk a körülményekhez, azok változásaihoz, a benne meglévő tapasztalatok, ismeretek felhasználásával pozicionálja a testünket. Látható módon irányítja figyelmünket, rendszerezi az így gyűjtött információkat, és pontosítja a működő érmelmi programokat és magatartásunkat.

„Testbeszédünk elárulja”, hogy mire készülünk. Ez is a szándékok felismerését, és a köznapi gondolatolvasást támogatja. Elménk a ki nem mondott döntéseink végrehajtására is felkészíti testünket. Ugyanígy felfedi az ellenséges szándékok kialakulásának folyamatát is. Az ezt mutató érzelm kifejezések is testi jelek formájában jelennek meg. A szándékok felismerést segíti az a belső programunk, amely úgy működik, mint egy hazugságvizsgáló. Ami észlelünk az igaz, vagy hamis. Milyen a veszélyessége. Az evolúcióban kialakult bennünk a harcolj, vagy menekülj, program. Elménk pontosan felméri a győzelemhez vezető képességeinket. Ugyanakkor a harc nem engedi a kitérést, a menekülést. Csak egyet tehetünk. Harcolni kell. Ahogy a tárgyi világot elemzi, ugyanúgy veti össze egymással a verbális, és a nonverbális jeleket. És keresi a sikerekhez vezető utat. A probléma megoldási folyamat bármely elemét vizsgáljuk, a háttérben mindig találkozunk az érzelmi összetevőkkel.

Egyrészt az észlelési rendszeren keresztül, amely a figyelmünket irányítja, aktivizálja motivációs rendszerünket, összerendezi az elérhető, és a tudatunkból kinyerhet információkat, ha az hiányos, újabbak megszerzését organizálja, miközben agyunkat erre és csak erre a problémára hangolja rá.

Másrészt az új helyzetnek megfelelően áthangolja érzelmi rendszerünket, kioltja az előző érzelmet, lecsendesíti hangulatunkat és elindítja az újakat. Érzelmeinket – arányos mértékben – a szituáció pillanatnyi mozzanataihoz hangolja, és egyensúlyba hozza a kognitív szféra követelményeivel.

Harmadrészt pozícionálja testünket, beállítja energia szintünket, és fiziológiailag alkalmassá tesz minket, hogy testi kompetenciáinkat szükség esetén minél gazdaságosabban és optimálisan használhassuk fel az aktuális érzelmi program követelményeinek megfelelően. Biztosítja, hogy kiszolgálja a támadás, a védelem, a menekülés, az öröm funkcióit.

Negyedrészt az egész folyamatba bekapcsolja szocializációs folyamataink során elsajátított értékek, hitek, szükségletek, magatartásminták, célok, követelményeit.

Végül az egész rendszert összehangolja az emberi együttélés folyamatában kialakult kultúra, szokások normáival. Minden döntésünkben benn rejlik a jó, és a rossz erkölcsi meghatározottsága.

Az érzelmek szerepének, funkcióinak, lefolyásának, jelrendszerének ismerete egy új típusú problémamegoldási rendszert eredményez, amely az akadémiai képességeinkkel együtt a szociális területekre is kiterjedve, növelné döntéseink hatékonyságát.

Iskolában, vagy hol máshol

A kérdés arra irányul, hogy hol szerezhetők meg azok az ismeretek, és képességek, melyek az érzelmi tudatosság fejlesztést szolgálják. A rossz hír az, hogy nincs ilyen. A katonai kiképzés porosz-orosz hagyományokra épül. A tudományok oldaláról indítva szigorú rendre, fegyelmeire, és számonkérésre szervezőik. A rendszer hátrányainak kiküszöbölésére jelent meg a fejlett országok kiképzési rendszerében a leadership eszméje, és gyakorlata, amely, az emberi kompetenciák területére hangolódva oldja az egyoldalúságot, és a katonák érdeklődésére, motivációira, képességeire épülve spontán folyamatok révén hangolja az érzelmi problémamegoldást. A cikkben felvetett probléma a leadership keretei között, azt szélesítve szolgálná a katonai képességek fejlesztését.

A megoldás

Az elmúlt években kialakult a pszichológia egy új területe, az evolúciós lélektan, amely választásaink, döntéseink magyarázatára, értelmezésére szolgál. Az evolúciós lélektan központi szerepbe helyezi az érzelmeket. A legújabb kutatási eredmények azt mutatják, hogy a kogníció folyamatát érzelmi programok szabályozzák. Ennek eredményeként egyre inkább felértékelődik, – pontosabban fogalmazva - az emberi létezésben a helyére kerül az érzelmelek fontossága. A hadseregek mindig is élen jártak az „embertudományok” gyakorlati bevezetésének a területén, mert ezzel növelni tudták bevetési potenciáljukat, miközben eredményesen óvták, védték a katonák életét.

Az agykutatás diagnosztikai eszköztanának és módszertanának a fejlődése olyan mértékben gazdagította az érzelmelekről és a gondolkodásról, szóló ismereteinket, hogy kialakulhatott az a tudományos ismeretanyag, amely várhatóan paradigmaváltást idéz elő a társadalomtudományok, az emberi és csoport magatartás, az irányítás, a vezetés és a döntésemleletek területén. „Mivel az érzelmelek gyakorolják az egyik legfontosabb hatást arra, hogyan gondolkozunk, és viselkedünk társas helyzetekben, nyilvánvaló, hogy az érzelmelek tudományos megértése központi kérdés a pszichológia számos gyakorlati területén.” Írja Forgács József az *Érzelmelek Pszichológiája* című művében. Ha az érzelmelek oly annyira fontos szerepet töltenek be az emberi létezésben, és a társas kapcsolatokban, hogy központi helyre kerültek a pszichológia gyakorlati alkalmazásában, akkor miért nem gondoljuk tovább a folyamatot azokon a területeken, ahol a szociálpszichológiának érdemi szerepe lehet az emberi, a csoport, a szervezeti magatartás területén. Nota Bene: a társadalmi érintkezésben, és a szervezeti kultúra, és a szubkultúra különböző formációinak a területén. Honvédségünk életében is.

A fejlődés, és a váltás elkerülhetetlen, és ennek támogatásában kitüntetett szerepe van „az evolúciós lélektannak, amely a pszichológia egy tudományos megközelítése. Az evolúció biológiai meghatározottságából, a kognitív tudományokból, az antropológiából, az idegtudományokból táplálkozik, és ezek integrálásával írja le az emberi természetet. Az evolúciós lélektannal foglalkozók kialakították azt a megbízható rendszert, amely segítségével felvázolható az emberi agy és gondolkodás specifikus működése. Egy erősen strukturált rendszerről van szó, amelynek funkcionális összetevőit, – a rendszer elemeit – a természetes szelekció során alkalmazkodásuk révén fejlesztették ki vadászó-gyűjtögető elődeink. Az így létrejött programok segítségével sikeresen megoldották a felmerülő problémákat. Éppen ezért az evolúciós lélektan a pszichológiának a gondolkodásról, a problémamegoldásról szóló része.” (Cosmides, Tooby 2000 pp114) Állítják a szerzők „Az evolúció lélektana és az érzelmelek” című tanulmányukban.[7]

Az érzelmi tudatosság kritikus területe az önismeret. Segít minket elhelyezni abban a szociális, társadalmi térben ahol élnünk kell. A minket körülvevő világról kapott visszajelzések pontosan jelzik viselkedésünk, magatartásunk konform, és konfliktusos területeit. Ezekre építve sok emberben merül fel önismeretének fejlesztése, és erre épülve a változás, a változtatás igénye.

Az önismeret forrásaként megjelenik: a gondolati síkon végzett önészlelés, mások visszajelzésének feldolgozása magatartásunkról, és a társas összehasonlítás. Ez a belső elemző, monitorozó tevékenység rejtett, másokkal meg nem osztott dimenziókat tár (-hat-na) fel, amelyben erkölcsi alapállásunk, értékeink, érdekeink, szükségleteink, céljaink, játsszák a főszerepet. Az önismeret forrásaként megjelölt külső és belső hatások egy gondolkodási folyamatban összegződnek, amely

során memóriánkból felszínre kerülnek az adott szituációhoz kapcsolódó emlékeink. Ennek a folyamatnak gyenge láncszeme az érzelmi emlékezet és megismerés. Emlékeink egy része erősen átalakult érzelmi hatásokkal jelenik meg az emlékezés folyamatában. Az érzelmi tudatosság fejlesztésének egyik célja ennek az érzelmi összetevőnek a gyakorlati problémamegoldásba történő beillesztése. Ugyanis míg egész életünket egy racionális mérlegelés jellemzi, addig az érzelmi oldalról történő elemzés több, nem racionalizálható, - ám az érzelmi elemzés során pontosan mért elemet is tartalmaz. Az érzelmi elme mindenhol kitölti a racionalitás hiányait. Ebben a rendszerben új funkciókat kaphatna a tevékenységek utáni értékelés rendszere.

AZ ÉRZELMI ÖNISMERET ELEMEI

Az érzelmi önismeret lehetőséget teremt arra, hogy belső monológ során érzelmeinket, hatásaikat, intenzitásukat felismerve néven nevezzük, és elhelyezhessük a racionális problémamegoldáshoz hasonló rendszerbe. Ez némi biztosítékot jelent érzelmeink kezeléséhez. Döntéseink elemzése segítséget nyújt ahhoz, hogy megítélhessük a racionális és az érzelmi elemek kapcsolatát. Mivel abszolút racionalitás nem létezik, a környezeti tényezők vizsgálata lehetőséget teremt a kockázatok és az előnyök mérlegelésére. Ha erre nem vagyunk képesek, akkor nyilvánvalóan felborul az érzelmi és racionális elemek aránya, amely számos veszélyt rejt magában. Elsősorban az érzelmi észlelés hibái, elfogultságunk, motiváltságunk okán. Számolnunk kell azzal is, hogy döntéseink másokban is érzelmi reakciókat indítanak el. Az érzelmi önismeret biztosítékot jelen arra, hogy másokhoz való viszonyításban helyesen pozicionáljuk magatartásunkat. Az érzelmi önismeret elemei:

- *Az érzelmek okainak azonosítása.* Az érzelmeknek oka, van. Kezelésük gyakori hiányossága, hogy önmagukban lebegnek, és nem tudjuk megnevezni az okát. Ha az okot ismerjük, ezek manipulációján keresztül reális lehetőségünk lesz az érzelmek egy részének elkerülésére, hatásuk csökkentésére, vagy az okok átprogramozásával hatásuk növelésére, úgy ahogy racionalizált szükségleteink megkívánják.
- *Az érzelmi folyamatok szabályozása.* Az érzelmi folyamatok ismerete hozzájárul, hogy belső monológ eredményeként megfigyelhessük érzelmi jelenségeinket, és intenzív kognitív akciók révén lehetőség adódik negatív hatásuk csökkentésre, pozitív következményeik erősítésére.
- *Az érzelmi folyamatok következményeinek felismerése.* Az érzelmi folyamatok következményeinek felismerése, és utóhatásuk számbavétele saját, és mások gyakorlatában lehetőséget ad arra, hogy limitáljuk, korlátozzuk, megfelelő keretek között tartjuk a számunkra kívánatos magatartás kiváltásának az esélyeit.
- *Az érzelmek funkcióinak ismerete.* Az érzelmek funkcionálisan segítik életünket. Ezen funkcióknak megfelelően irányítják figyelmünket, észlelésünket, az információk feldolgozását, és szabályozzák magatartásunkat. Az érzelmek felismerése a verbális kifejezéstől függetlenül választ ad a személyek valóságos, rejtett szándékairól.
- *Az érzelmek felismerése.* Az érzelmeknek számos jele van, melyek megjelennek az arcon, a meta- és nonverbális kommunikáció, kísérő jeleiként. Amennyiben felismertük, azonnal kapcsolhatóvá válnak a hozzá kötődő célok, asszociációk.

Az érzelmi tudatosság fejlesztésének területei

Az érzelmi tudatosság fejlesztése három nagy területre irányul. Az érzelmi készségekre, az ezek feldolgozását segítő kognitív készségekre, és a magatartás nonverbális kommunikációs jelei feldolgozására, - mi több – megjelenítésére. Felsorolásszerűen tekintsük át ezeket.

Az érzelmi készségek összetevői

Érzések azonosítása önmagunkon, és másokon az érzések jelrendszereinek és nonverbális jelei alapján. Alapérzelmek megjelenítése és emblémaként történő alkalmazása a kommunikáció folyamatában. Az érzelmek intenzitásának megítélése. Az érzelmek kezelése, rejtése, intenzitásuk növelése és csökkentése a szituációnak megfelelő módon. Az érzelmi reakciók tudatos alkalmazása az emberi kapcsolatokban, különös tekintettel az érzelmi érzékenységre és fejlettségére. Az indulatok kezelésének és levezetésének eszközei, tekintettel az empátia által nyújtott lehetőségekre. Az érzelmek funkcionalitásának ismerete, és bekapcsolása az észlelési folyamatokba. A társas kommunikáció igazságtartalmának felismerése, a kommunikációs csatornák kongruenciájának a segítségével. A testbeszéd érzelmi töltetének feltárása, és becstolása az észlelési folyamatokba.

Kognitív készségek

Érzelmek, és okaik elemzése. Az érzelmek és másokra gyakorolt hatásuk elemzése. Az érzelmek szerepe a self, különös tekintettel az aktív Én működésében. Az érzelmek szerepének elemzése a társas kapcsolatokban, különös tekintettel a katona közösségekre. Érzelmek keltése a befolyásolási folyamatban. Önismereti és fejlesztési készségek. Az alap, és magasabb rendű érzelmek összevetésével rejtett szándékok, célok felismerése.

A magatartás nonverbális kommunikációs jegyei elemzésének készségei. A nonverbális kommunikáció eszközei, módszerei az emberi érintkezésben. A verbális, és nonverbális kommunikáció összhangja, és különbsége az érzelmi reakciók tükrében. A nonverbális magtartás megfigyelésnek és értékelésének eszközei. A testbeszéd. A gesztusok és emblémák érzelmi összetevőinek elemzése. Köznapi gondolatolvasás. Hazugságok, rejtett szándékok felismerése a beszéd, és a nonverbális kommunikáció érzelmi interpolációja alapján.

Az érzelmek kondicionálása

Az érzelmi nevelés minden tudatosságot nélkülözve épül be a szocializáció folyamataiba. A családok között óriási különbségek vannak az érzelmek gazdagság területén, ami a nevelés oldaláról megjelenik a gyerekek életében is. Érzelmi intelligenciánk életünk kora szakaszától kezdve fejlődik. Attól függően, hogy a nevelési hatásokat befogadók számára kívánatos eredmény milyen eszközzel érhető el. A sála széles. Az egyik oldalon a kérés, a szeretet, a másikon lopás, az agresszió.

Az érzelmek irányítják figyelmünket, befolyásolják problémamegoldásunkat. Beépülnek észlelésünkbe, attribúciós rendszereinkbe. Automatikusan működtetik önvédelmi reakcióinkat. Részei attitűdjeinknek, melyek értelmi és érzelmi összetevőiknél fogva befolyásolják és rangsorolják értékválasztásunkat. Alakítják embertársainkhoz való viszonyunkat. Erős késztetést, vagy gátlást képeznek motivációs rendszereinkben. Kijelölik társadalmi létezésünk szociális tereit.

Az érzelmi nevelés hiányosságai megjelennek a másokhoz fűződő kapcsolatainkban. Olyan magatartási tényezőket aktivizálnak, mint: Indulatosság, agresszivitás. Aszociális magatartás.

Előítéletesség, ellenséges beállítódás. Feszültség, aggodalom, félelem. Egyedüllét. Magatartászavarok. Hazudozás. Értetlenség. Meggondolatlanság. Figyelmetlenség, romló figyelem. Meggondolatlanság, impulzivitás. Helyzet észlelési problémák. Tanulási zavarok.

A katonák, a pszichológusok, az emberekkel hivatásszerűen foglalkozók, a vezetői munkát végzők, a kereskedők, a vendéglátósok nap, mint nap találkoznak az ingerszegény környezet érzelmi következményeivel, a hiányok okozta problémákkal, amely sokszor nincs szoros kapcsolatban a családok anyagi lehetőségeivel. Az érzelmi nevelés, ugyanis nem pénzkérdés, hanem szocializációs folyamat, ami lehet gazdag, de szegény is.

A kiképzési kultúra fejlesztés hajtóereje: a szervezeti igény, amely logikailag három részre tagolható oktatási, képzési rendszerben ölt testet.

Elméleti felkészítés: Az érzelemelméletek bemutatásával kiemeljük az érzelmek fontosságát, elméletileg szilárd alapokra helyezzük az érzelmi tudatosság kérdéskörét

Gyakorlati felkészítés: A gyakorlati részben az alapérzelmek felismerésére helyezzük a hangsúlyt, és bemutatjuk az érzelmek keveredését. Mivel az érzelmek lehetőséget adnak szociális játékokra, megtévesztésre, bemutatjuk az igaz/hamis megkülönböztetésének a lehetőségét. A résztvevők gyakorolják az érzelmek megjelenítésének a módszereit is.

Módszertani ajánlások: A módszertani blokkban ajánlásokat fogalmazunk meg a mindennapos gyakorlati alkalmazáshoz.

Az érzelmi folyamatok szabályozását segítő módszertani elemek

Az érzelmi tudatosság jórészt automatizmusok révén működik, ugyanakkor vannak olyan tényezők, melyek javítják ennek hatékonyságát. / Beszédkészség az érzelmekről, párbeszéd az érzelmi folyamatok jeleiről, az érzelmek okozta elváltozásokról. / Érzelmi jelek észlelése és helyes megítélése önmagunkon, és másokon. / A magasabb rendű érzelmek észlelése, és szituációba helyezése. / Összetett érzelmek, felbontása, részekre tagolása, a részek változásának, belső dinamikájának a meghatározása. / Döntéshozatalunk érzelmi következményeinek elemzése adott személyre, személyekre, csoportra, és szituációra vonatkozóan. / Belső monológ önmagunkról, másokról, érzelmek és cselekedetek összhangjáról, hatásairól, és ellentmondásairól. / Érzelmi folyamatok szabályozás személyes céljaink, és a környezet befogadó készsége szempontjából. / Stresszorok hatásainak csökkentése kritikus helyzetekben. / Érzelmek kezelése és káros hatásuk csökkentése különös tekintettel a hangulatokra, és az indulatokra. / Csoportdinamikai hatások kezelése különös tekintettel az érzelmi elfogadásra, és/vagy távolságtartásra. / Önkontroll és kapcsolati tudatosság az együttműködés fenntartására és a szociális kapcsolatok szabályozására. / Katonai kapcsolatok hatása a kívülálló fél irányába. / Érzékenység mások érzelmi állapotának felismerésére, és kezelésére. / Segítő támogatás az érzelmi mélyponton levők számára. / Az érzelmi ragályosság hatásainak kivédése, kezelése. / Érzelmileg, és racionálisan átgondolt magatartás ügyeink intézésében. Érzékenységi küszöb meghatározásnak képessége. / Érzelmi támadás, és támogatás felismerése. / Empátia mások megértésében. / Az érzelmek okainak meghatározása. / Nyíltság, transzparencia mértékének a meghatározása a kommunikációs folyamatokban. / Érzelmi kitárulkozás szabályozása. / Önfogadás mértékének és hiányosságainak felismerése. / Konfliktusos érintkezés érzelmi és racionális elemeinek

leválogatása. / Felelősségvállalás. / Jövőlátás az emberi kapcsolatok változásainak prognosztizálására, és kedvező irányba fordítására.

Módszertani lehetőségek csoport foglalkozásokon

Érzelmek felismerése fényképekről. / Érzelmi élmény kifejtése a résztvevők által. / Mit érzel most? Pillanatnyi érzelmi állapot elemzése, és az érzelem szintjének a meghatározása. / Mit érezhetett akkor? Megtörtént események, konfliktusok elemzése egyik, vagy másik szereplő által. / Mi lehet az oka? Érzelmi szituációk elemzése. / Te hogy látod? Szervezeti, emberi konfliktusok elemzése az érintettek között. / Magasabb szintű összetett érzelmek elemzése. (irigység, agresszió, visszavonultság, utálat, szorgalom, csalódottság, szorongás. / Beszéljük meg. katonai kiscsoportok javaslatai érzelmi élmények megbeszélésére. / A deviancia határán. Magatartás jegyek az összetartó csoportokban. / Gyűjtőmunka. Érzelmi hangulati elemeket mutató képek, zenék, filmek... / Érzelmek kifejezése szövegmondás alapján. / Testbeszéd olvasása.

A program megvalósításának területei

Önálló képzési program, tréning keretei között érzelmeket generálva, és érzelmi hatásokra reagálva. Tanácsadásra, coachingra, vezetői konfliktusok megoldására. / Önálló csoportban végzett munka.

Alapozó tanulmányok

Tanári, kutatói munkám során rendszeresen találkoztam az emberi magatartás olyan dimenzióival, melyekre a tudomány akkori állása szerint nem találtam magyarázatot. Kérdéseimre az érzelmelemlekek területén kaptam választ. Az elmúlt évtizedben ebből a személyes indíttatásból foglalkoztam az érzelmek problémájával, elsősorban a személyes vezetés, a leadership hatékonyságának fokozása érdekében. Az időpont kezdete nagyjából összefügg az érzelmelemlekek nagyarányú fejlődésével, és megjelenésével. Meglepetten láttam, hogy a magyar szellemi élet nem igazán hangolódott rá a problémára. Egy területen viszont óriási fejlődést láttam. A bulvár területén. Ezek kritikájaként született meg először a:

- „Köznapigondolatolvasás” című tanulmányom, amiben rendszereztem amellett, hogy ez egy olyan képességünk, amely az evolúció eredménye. Bár sokan elutasítják, mégis mindenki azon van, hogy kifürkéssze parancsnoka, főnöke, szeretője, környezete (mások) gondolatait, hogy azokat maga hasznára fordítsa. Fejleszthető mindenki számára. A katonák számára különösen fontos kompetenciákat jelent. Idegen közegben az ellenséges szándékok kiszűrésére a társak érzelmi problémáinak felismerésére, és a segítő tanácsadásra. A közösség moráljának az erősítésére.
- Az „Érzelmek és döntéshozatal” című munkámban az evolúciós lélektan, és sok más pszichológiai irányzat alapján tekintettem át azt, hogy miként döntenek az emberek. Ehhez is az evolúció adta a kiindulási feltételeket. Most már értem, hogy az emberek miért látják másként (ugyanazt) a világot. Minden minket körülvevő dologhoz kötődik valamilyen tapasztalatunk. A tapasztalathoz pedig érzelmek. Igaz ez érdekeinkre, értékeinkre, szükségleteinkre stb. Gondosan végig elemeztem azokat tényezőket, melyek magatartásunk szabályozására irányulnak. Valamilyen formában mindenhol megjelent az érzelmi tényező. Erősebben a „hit”-nél, a „motivációnál”, és talán kevésbé az érté-

keknél. Mindaz, amit érzelmi program szabályoz, érzelmileg determinált. Így lesz teljessé a korlátozott racionalitás. Az egyéni racionalitás sem más, mint érzelmi determinizmus. A csoportos kiképzés olyan élményanyagot szolgáltat, amely segíti az egységes helyzetértékelést, és javítja az együttműködés színvonalát. Létezik egy különleges pszichikai képződmény, amit „kölcsonös figyelmi helyzetnek” nevezünk. Ha ez kialakul, akkor lehetőség adódik a társak gondolkodásának, és problémamegoldásának a közelítésre. A leader státusz leginkább ennek a kialakításában testesülhet meg

- „Az érzelmi megismerés és érzelmi tudatosság alapjai” című munkámban összegyűjtöttem az érzelmek jeleit. Ugyanis meglepődve tapasztaltam, hogy mennyire mást gondolnak, és mutatnak az emberek az érzelmeikről. Bár az emberi nem esetében az egész világon egységesek az alapérzelmek, az ezt jól kifejező érzelmkifejezések, vannak közöttük különbségek attól függően, hogy ki hogy szocializálódik. A félreértések mindig konfliktusforrásként jelennek meg. Ezért itt elemeztem az igazi, és a hamis érzelmkifejezéseket, melyek a szemtől szembeni hazugságvizsgálatok fontos elemei, és ezer szálon kötődnek a köznapi gondolatolvasás, és az érzelmi döntéshozatal problémájához.
- „A testbeszéd” című tanulmányomban a nonverbális kommunikációra koncentráltam, illetve az érzelmek jól látható testi jeleire. Erősen kritizáltam a piacon kapható kiadványokat, melyek 15–20 évvel ezelőtti elméleti adatbázisból dolgoznak. Az érzelmek testi jelei kimaradtak belőlük, jóllehet az érzelmek cselekvésre pozicionálják a testünket. Így szabályozzák testi működésünket az érzelmi programok
- „A hazugság nyomában.” című munkám egyrészt szociálpszichológiai szempontból leszámol azzal a tévhitel, hogy hazudni bűn. Másrészt igazat sem szabad mindig mondani. A fő kérdés - hazudjak, vagy mondjak igazat - az inkább erkölcsi problémákat feszeget. Mivel ártunk, vagy használunk. Ezt követően sorba veszem a hazugság problémáját, jeleit. Ha tudnánk, hogy hány nonverbális jelet bocsátunk ki, amikor hazudunk, soha sem tennénk. A katonai kiscsoportok léte ettől függetlenül szorosan kötődik az igazság feltárásához, mert a feladat végrehajtás során felmerülő problémák okainak közös elemzése biztosítja, hogy azok ne váljanak romboló tényezővé.

Módszertani zárszó

Mivel nem állítható minden csoport mellé egy pszichológus, aki segít, és támogat, ezért az egész program a meglévő kiképzési rendszerre épül. Annak kiterjesztése az érzelmi kommunikáció területeire. Van, ahol működik. Bevezethető.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Alan McCluskey, St-Blaise Emotional Intelligence in Schools. Letöltés dátuma 20 August 2013, 18:34:44
- [2] David MATSUMOTO, Hyi Sung HWANG, Lisa Skinner, Mark Frank. The effects of lies on economic decision making. An eye tracking study. Research in Psychology and Behavioral Sciences, 2013, Vol. 1, No. 3, 38-47 The Federal Bureau Investigation Evaluating Truthfulness and Detecting Deception
- [3] FORGÁCS József (2003) Az érzelmek pszichológiája. Kairosz KK Budapest
- [4] FORGÁCS József: A társas érintkezés pszichológiája. Kairosz 2003 pp 407
- [5] K.T. STRONGMAN (2003) The psychology of emotion. Fifth edition, Wiley & Sons Ltd England
- [6] Keith OATLEY - Jennifer M. JENKINS (2001) Érzelmek. Osiris Kiadó, Budapest
- [7] Leda COSMIDES & John TOOBY (2000) Evolutionary Psychology and the Emotions. Handbook of Emotions, 2nd Edition M. Lewis & J. M. Haviland-Jones, pp:114-137
- [8] LOOMISH W.E. Four billion Years (1988) An Essay on the Evolution of Genes and Organism. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates
- [9] Malcolm GLADWELL (2002 08 05) The Naked Face. The New Yorker
- [10] Martin SOORJO: The black book of lie detection www.investigationsystem.com Letöltés 2013 11 12
- [11] NAVARRO Joe. The truth about lie detection Spycatcher 2012 márc
- [12] Pablo FERNANDEZ - Berrocal, Desire RUIZ. (2008) Emotional Intelligence in education. Electronic Journal of Research in Educational Psychology No.15. Vol, 6 pp: 421-436
- [13] Paul EKMAN, Wallace Friesen (2003) Unmasking the face. Malor books Cambridge
- [14] Paul EKMAN (2003) Emotions Revealed. Times books
- [15] Paul EKMAN (1992) Telling Lies. WW - Norton New York
- [16] Peter BULL (2001 december) State of art nonverbal communication. The Psychologist
- [17] PINTÉR István. Köznapi gondolatolvasás. Kézirat
- [18] PINTÉR István. Érzelmek és döntéshozatal. Kézirat
- [19] PINTÉR István. Az érzelmi megismerés és érzelmi tudatosság alapjai. Kézirat
- [20] PINTÉR István. A testbeszéd. Kézirat
- [21] PINTÉR István. A hazugság nyomában. Kézirat
- [22] Rachel ADELSON. American Psychological Association 2004 July/August Vol35
- [23] Robert PLUTCHIK. (1980) Emotions. A psychoevolutionary synthesis. New York: Harper and Row
- [24] Robert PLUTCHIK (2001) The nature of emotions. American Science Juli-August Volume 89 pp 344-347
- [25] Robert SEKULER - Randolph BLAKE (2004) Észlelés Osiris
- [26] Susan T. FISKE (2006) Társas alapmotívumok. Osiris Kiadó
- [27] Child poverty in perspective: Child Well-being in rich countries UNICEF The United Nations Children's Fund, 2007

Szaniszló Zsolt¹

MI TÖRTÉNHESETT 1968. MÁRCIUS 27-ÉN MOSZKVA MELLETT? MIÉRT NEM KATAPULTÁLT A MIG-15 UTI SZEMÉLYZETE? A VILÁG ELSŐ ŪRHAJÓSA MOST LENNE 80 ÉVES...²

Közel negyed évszázad telt el azóta, hogy 13 évesen, egy úttörőtábor vendégeként megnézhettem a Kirzsacs városka melletti emlékművet, ahol a világ első ūrhajósa pilótatársával életét veszette. Akkor még nem sejtettem, hogy a sors az én életemet is a repülés irányába tereli. Újra megvizsgálva a repülőkatasztrófáról összegyűjtött forrásanyagaimat, fontos ténytettem észre, mégpedig az ún. „végső megoldás”, a katapultálás elmaradását a személyzet részéről. Most, Jurij A. Gagarin születésének 80. évfordulója kapcsán ismét időszerűvé válik ennek a kérdésnek is a vizsgálata...

WHAT DID HAPPEN NEAR MOSCOW ON 27TH MARCH 1968? WHY DID NOT THE CREW OF THE MIG-15UTI EJECT? THE FIRST COSMONAUT OF THE WORLD WOULD BE 80 YEARS OLD NOW...

Close quarter a century passed since that, in my 13th year, as the guest of a pioneer-camp, I got a chance to visit the monument near village Kirzach, where the s first cosmonaut of the world had lost his life with his fellow pilot. I could not suspect yet that day, the fate can drive my life into the direction of the flying activity. During the re-examining process of my collected source-materials about the aircraft catastrophe I noticed an important fact, the so called „final solution”, the lag for ejection from the crew's part. Now, the 80th anniversary of the birth of Yuri A. Gagarin, the examination of this question becomes timely again...

BEVEZETÉS

1968. március 27-én egy MiG-15UTI típusú repülőgép fedélzetén katasztrófát szenvedett Jurij A. Gagarin okl. mk. ezredes, a Szovjetunió Hőse, a Szovjetunió ūrhajós pilótája (1. ábra) és Valerij Sz. Szerjogin repülő ezredes, a Szovjetunió Hőse, oktató-repülőgépvezető (2. ábra).



1. ábra Jurij A. Gagarin okl. mk. ezredes, a Szovjetunió Hőse, a Szovjetunió ūrhajós pilótája³



2. ábra Valerij Sz. Szerjogin repülő ezredes, a Szovjetunió Hőse, oktató-repülőgépvezető⁴

¹ okl. mk. százados, hatósági ejtőernyős, NKH Légügyi Hivatal Állami Légügyi Főosztály, Szaniszló.Zsolt@nkh.gov.hu

² Lektorálta: Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár NKE Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

³ Forrás: A Szerző gyűjteményéből.

⁴ Forrás: url: http://www.Ю_А_Гагарин.lemur59_ru/Seregin_VS.jpeg (2014.03.11).



A repülési feladat végrehajtását követően a repülésvezető vette rádión keresztül a jelentést a feladat befejezéséről, valamint a hazavezető irányra állásról, majd a rádiókapcsolat örökre megszakadt. Az eltűnt repülőgép és személyzete után azonnal megindult a légi- és földi kutatásmentés, amely rövidesen megállapította, hogy a repülőgép katasztrófát szenvedett, majd később azt is, hogy a személyzet a lezuhant gépben repülőhalált halt.

A világ első kozmonautája és pilótatársa katasztrófája körülményeinek, okainak vizsgálata nem hozott megnyugtató eredményt sem a repülőszakma, sem a repülés iránt érdeklődő közvélemény számára, annak ellenére, hogy a tényfeltáró bizottság a kor legnevesebb szovjet repülőszakembereiből állt. Noha az elmúlt több mint 45 év alatt számos elmélet került napvilágra az esettel kapcsolatosan – közöttük több ún. „összeesküvés-elmélet” is - az, hogy pontosan mi okozta közvetlenül a pilóták halálát, a mai napig nem tisztázódott. Az viszont tényszerűen megállapításra került, hogy a személyzet meg sem kísérelte a katapultálást.

Az esettel kapcsolatosan eddig összegyűjtött véges számú szakirodalmi forrásaim ismeretében jelenleg még nem tervezek csatlakozni azok táborához, akik közel 100%-osan megnevezik a katasztrófa véletlen (pl. a MiG-15UTI egy másik – egy kísérleti SzU-15-ös típusú – repülőgép – örvényleválásába kerülve ment át zuhanásba, már alacsonyabb magasságon), vagy szándékos okozóját (pl. a MiG-15UTI a saját légvédelem áldozata lett (!)), amely a repülőgép földbe csapódásához vezetett. Úgy gondolom, erre majd a későbbiekben egy másik, a jelenleginél jóval több repülésbiztonsági tudományterület bevonásával elkészített, alaposabban megszerkesztett tanulmány keretén belül kerülhet sor.

A meg sem kísérelt katapultálás ténye azonban nemcsak ejtőernyős oktatóként, illetve hatósági ejtőernyősként kellett, hogy felkeltse az érdeklődésemet, hanem többek között speciális pilóta-mentő ejtőernyők-területén kutatásokat folytató doktorandusz hallgatóként is. Ennek megfelelően jelen tanulmányomban felhasználom azokat a forrásanyagokat is, amelyeket a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola Biztonságtechnika-tudományterületén folytatott levelező tanulmányaim során, *”Légi járművek egyéni és csoportos vészelhagyási biztonsági rendszerei”* című kutatói szeminárium során a MiG-15UTI katapultülésére vonatkozóan összegyűjtöttem, és kapcsolódnak a jelen dolgozat témájához.

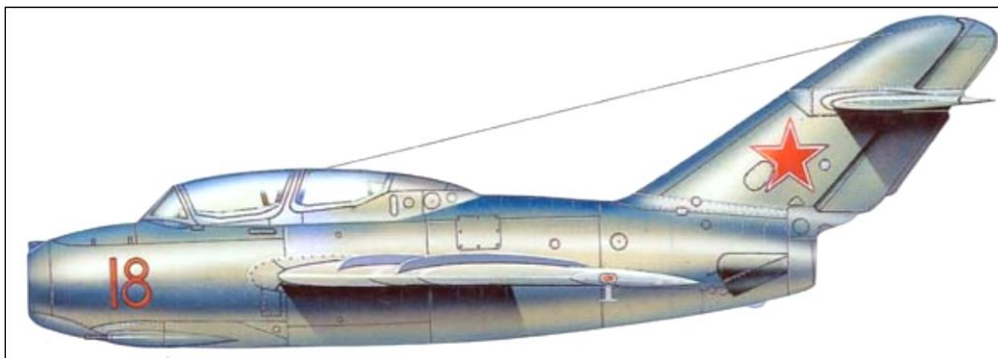
Továbbá, az eset bemutatása és magyarázata során felhasználom mindazon gyakorlati tapasztalataim, amelyekkel repülőtisztként 12 éves, repülő-hajózó pályafutásom gazdagodtam, és magyarázattal szolgálhatnak a gépelhagyásra vonatkozó ún. „végső döntés” meghozatalának elmaradására, az akkori repülési feladat ismert körülményeinek vonatkozásában.

A REPÜLÉS KÖRÜLMÉNYEI

Egy repülőgépvezető repülési jártasságának megőrzését előíró, az adott repülőgép típusra vonatkozó kiképzési utasításban szereplő, kötelező ellenőrzési feladatok maradéktalan végrehajtásának szükségessége, az előírt minimális repülési óraszám, illetve feladat teljesítése vérrel írt empirikus tapasztalatokon alapszik. Senki sem vetemedhet arra, hogy ezeket bármilyen megfontolásból lecsökkentse, éppen azért, mert ezek repülésbiztonsági szempontok alapján jelenti azt a minimumot, amely egy átlagos repülőgépvezető számára az általa valamikor megszerzett repülési képessége szinten tartását biztosítja.

Abban az esetben, ha az adott személy hosszabb időtartamon keresztül kiesik a repülési feladatok gyakorlati végrehajtásából, pl. egy adott időtartamig nem repülő-hajózó beosztást tölt be, akkor az elveszített repülőgépvezetői gyakorlat helyreállítására van szükség, amelyre az egyén sok esetben csak akkor kap lehetőséget, ha arra magasabb szintről is – valami miatt - erre igény mutatkozik.

Ennek megfelelően került sor az adott napon a Gagarin - Szerjogin összetételű személyzet ellenőrző légtérrepülési feladatának végrehajtására, a 18-as oldalszámú a MiG-15UTI típusú sugárhajtású repülőgép (3. ábra) fedélzetén, tervezetten kétszer 30 perces időtartamban.



3. ábra A Gagarin-Szerjogin ekvipázs 18-as oldalszámú MiG-15UTI típusú sugárhajtású repülőgépe⁵

A személyzet 1968. március 27-én 10 óra 19 perckor szállt fel a félórás feladat végrehajtására, majd nagyon hamar, 10 óra 30 perckor (!) az oktató már jelentette a repülésvezetőnek rádióan a feladat befejezését, valamint a hazavezető irányra állást, majd a rádiókapcsolat örökre megszakadt velük...

A KIVIZSGÁLÁS EREDMÉNYEI

A szovjet állami vezetés által felállított kivizsgáló bizottságnak azzal kapcsolatban, hogy mi is történt valójában, ki, vagy kik felelősek a katasztrófáért, nem sikerült teljesen egyértelmű eredményre jutnia, annak ellenére, hogy tagjait az akkori időszak leginkább elismertebb elméleti és gyakorlati repülési szakértőiből⁶ válogatták össze.

Amit tényszerűen megállapíthattak, azok a következők voltak:

1. a repülőgép személyzetével kapcsolatban:
 - 1.1. nem sértették meg az ún. „repülés előtti rezsim”-et (*okmányok és személyek kikérdezése alapján*);
 - 1.2. mindketten egészségileg alkalmasak voltak a repülési feladat végrehajtására (*okmányok és személyek kikérdezése alapján*);
 - 1.3. mindketten energikus küzdelmet folytattak a repülés végéig a repülőtechnika és az életük megmentéséért (*a repülőgép maradványai, a helyszín és a zuhanási paraméterek elemzése alapján*).

⁵ Forrás: A Szerző gyűjteményéből.

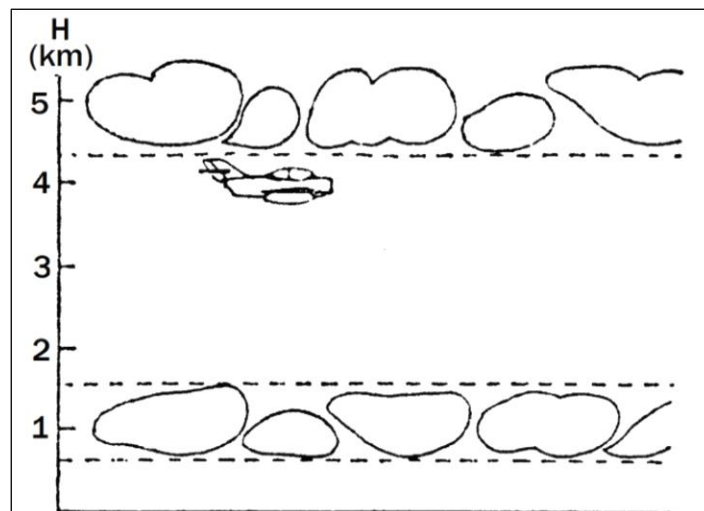
⁶ Szergej M. Belocerkovszkij okl. mk. altábornagy, akadémikus, professzor nevét, aki a múlt század 70-80-as éveiben a valamikori Magyar Néphadsereg Repülő Mérnök Műszaki Szolgálatának több jövő vezető mérnökparancsnokát is tanította a moszkvai Zsukovszkij Repülőmérnöki Akadémián, – a Szerző megjegyzése

2. a repülőtechnikával kapcsolatosan:

- 2.1. a repülőgép alkalmas volt a feladat végrehajtására *(okmányok és személyek kikérdezése alapján)*;
- 2.2. a repülőgép az előírások szerint volt a repülésre előkészítve *(okmányok és személyek kikérdezése alapján)*;
- 2.3. a repülés során műszaki meghibásodás nem következett be *(a repülőgép maradványok elemzése alapján)*;
- 2.4. a földre csapódás előtt a repülőgép egyik része sem sérült meg (ez alapján kizárhatóvá vált az idegen testtel vagy tárggyal – pl. meteorológiai léggömbbel, madárra stb. - történő összeütközés a levegőben, valamint a sárkányszerkezet törése egyéb, pl. repülőgépvezetői hibából *(a repülőgép maradványok és a helyszín elemzése alapján)*).

3. a meteorológiai és egyéb körülményekkel kapcsolatosan:

- 3.1. a légtérrepülés két felhőréteg között, viszonylag bonyolult időjárási viszonyok között hajtották végre (4. ábra) *(okmányok és személyek kikérdezése alapján)*;

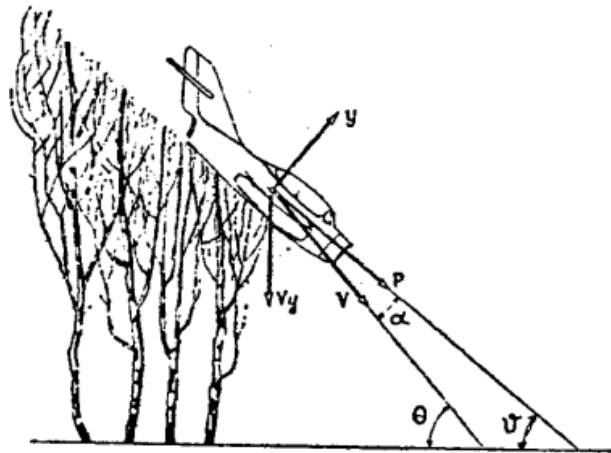


4. ábra A Gagarin-Szerjogin ekvipázs repülése során meglévő felhőrétegek vázlata a repülés körzetében⁷

- 3.2. a horizont csak szakaszosan, gyengén volt látható *(okmányok és személyek kikérdezése alapján)*;
 - 3.3. közeledő hidegfronti hatás előszele, erősödő turbulencia megjelenése a légtérben *(okmányok és személyek kikérdezése alapján)*.
4. a repülőgép becsapódás előtti repülési paramétereivel, üzemmódjával, mozgáspályájával kapcsolatosan:
- 4.1. a becsapódás előtti repülési paraméterek a következők voltak (5. ábra);

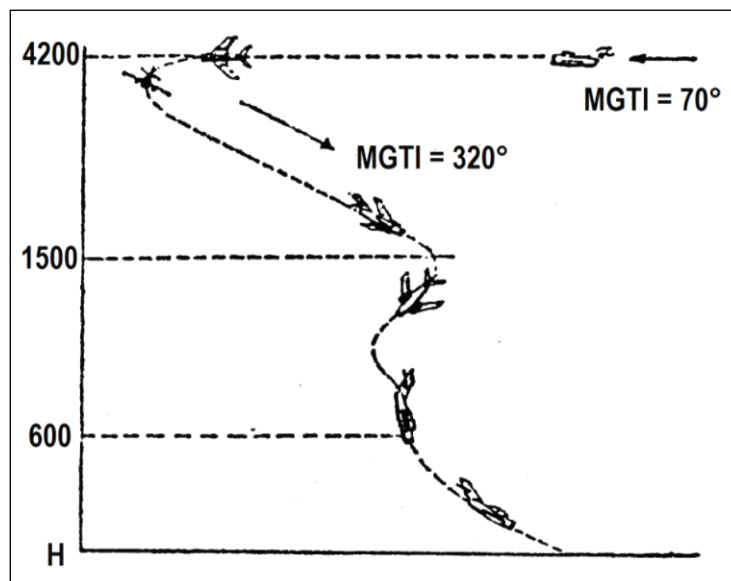
⁷ Forrás: CZEGLÉDI JÁNOS, AMACZI VIKTOR: In memoriam Gagarin – Szerjogin. Az utolsó tizenkét perc..., Repülés, Ejtőernyőzés 1988/4. pp. 12. (А Наука и Жизнь 1987/5 száma alapján.)

A repülőgép állásszöge $\alpha = 20^\circ$,
 a repülési pálya hajlásszöge a vízszinteshez képest $\theta = -50^\circ$,
 a bedöntési szög $\gamma \approx -30^\circ$.
 A repülőgép repülési sebessége
 $v = 190 \text{ m/s} \approx 594 \text{ km/h}$,
 a sebesség függőleges összetevője
 $v_y = 145 \text{ m/s}$,
 a túlterhelés $n_y \approx 10$.



5. ábra A Gagarin-Szerjogin ekvipázs repülése során meglévő felhőrétegek vázlata a repülés körzetében⁸

- 4.2. a repülőgép a becsapódás előtt ún. túlhúzott, kritikusan túli üzemmódban repült – számítások szerint a pilóták $n_y=10 \div 11$ túlterhelést⁹ idéztek elő (a repülőgép maradványok, a helyszín elemzése, valamint a szakértők számításai alapján);
- 4.3. a repülőgép az alsó felhőréteg áttörésekor $70 \div 90^\circ$ -os zuhanási helyzetben is volt (6. ábra), amelyből a pilóták megpróbálták a gépet kivenni (a szakértők számításai alapján). [1]



6. ábra A Gagarin-Szerjogin ekvipázs modellezett repülési profilja az alsó felhőréteg áttörésekor¹⁰

Amit ténszerűen nem állapíthattak meg, azok a következők voltak:

⁸ Forrás: CZEGLÉDI JÁNOS, AMACZI VIKTOR: In memoriam Gagarin – Szerjogin. Az utolsó tizenkét perc..., Repülés, Ejtőernyőzés 1988/4. pp. 12. (А Наука и Жизнь 1987/5 száma alapján.)

⁹ Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a MiG-15 UTI szerkezetére megengedett maximális túlterhelés értéke $n_{y,max}=8$, de a szerkezet törése csak $n_{y,törő}=12$ értéknél következik be. [2] – a Szerző megjegyzése

¹⁰ Forrás: CZEGLÉDI JÁNOS, AMACZI VIKTOR: In memoriam Gagarin – Szerjogin. Az utolsó tizenkét perc..., Repülés, Ejtőernyőzés 1988/4. pp. 12. (А Наука и Жизнь 1987/5 száma alapján.)

1. Hogyan került a repülőgép a fent leírt helyzetbe?
valamint azt, - de ezek már inkább az általam felvetett kérdések -, hogy mi volt az oka:
2. a rádiózás elmaradásának;
3. a katapultálással történő vészelhagyás teljes elmaradásának?

Noha sokakat elsősorban az első kérdésre keresendő válasz érdekel, azt az elmúlt időszak alatt sem sikerült teljes bizonyossággal megválaszolni. De ahogy már említettem: erre egy külön tanulmányt, az eddiginél jóval sokrétűbb, sokkal komolyabb kutatómunkát kell fordítani. Most maradok inkább a másik két kérdésnél...

Az elsőt viszonylag könnyen meg lehet válaszolni, elsősorban a szovjet repülőképzési rendszerben nevelkedett pilóta-generációk gyakorlati tapasztalatai, fiataloknak átadott tanácsai alapján. Ezekre nagyon sokszor volt példa a különböző szintű repülésre történő általános, közvetett és közvetlen felkészülés során, az ún. „lejátszás” keretében, amikor kötelező volt a repülés különleges helyzeteivel kapcsolatos kérdésekre azonnali, és jó választ adni.

Bár előírások szerint a repülőgépvezetőnek azonnal kötelessége a különleges esetet jelentenie a repülésvezetőnek azért, hogy az – elsősorban pszichológiai szempontból – megnyugtassa, illetve szakmai tanácsokkal lássa el a különleges eset megoldásával kapcsolatosan. Viszont a gyakorlat szinte kizárólagosan annak eredményességét támasztotta alá, hogy a pilóta először cselekszik, majd azt követően rádiózik, miután megoldotta a sokszor életveszélyessé vált repülési helyzetet! Ez a logikusan felépített fontossági sorrend! Mert velem is előfordult...

A Gagarin-Szerjogin esetnél fennálló – elsősorban meteorológiai – körülmények ismeretében ezt az alkalmazott gyakorlatot teljes egészében tényszerű magyarázatként tudom elfogadni, és a személyzet által végül sikeresen meg nem oldott különleges esetet követő zuhanás, majd földbe csapódás a rádióforgalmazás végleges elmaradását eredményezte.

Így maradt számomra legfontosabb kérdésként – egyben a tanulmány tárgyaként -, a katapultálás elmaradásának megválaszolása.

A MIG-15 UTI SIKERES VÉSZELHAGYÁSÁNAK KRITÉRIUMAI

A nagysebességű repülőeszközök – alapvetően katapultülés segítségével történő - sikeres vészelhagyása csak az első fázisa annak a teljes, rendkívül összetett és bonyolult folyamatnak, amely végül a repülőgépét valamilyen kényszerhelyzet miatt elhagyni kénytelen személyzet – lehetőleg sérülésmentes – ejtőernyős földetérésével záródhat. De csak abban az esetben, ha a teljes komplex rendszer minden egyes alkotóeleme – lehetőleg tökéletesen, az adott biztonsági határparamétereken belül – pontosan végrehajtja azt a feladatot, amelyre – személy esetén ki képezték, illetve berendezés esetén megtervezték.

Ezek alapján - visszagondolva a „*Biztonságtechnika tudományának alapjai*” és „*A repülésbiztonság elméleti alapjai*” című tantárgyak során, valamint az előzőekben már említett szeminárium keretén belül végzett tanulmányi – és kutatómunkámra –, ki kell jelentenem, hogy a repülőeszközét vészhelyzetben elhagyó pilóta megmenekülésének minden egyes mozzanatát az ún. „ember-gép-környezet” hármas rendszerben [3] érdemes vizsgálni.

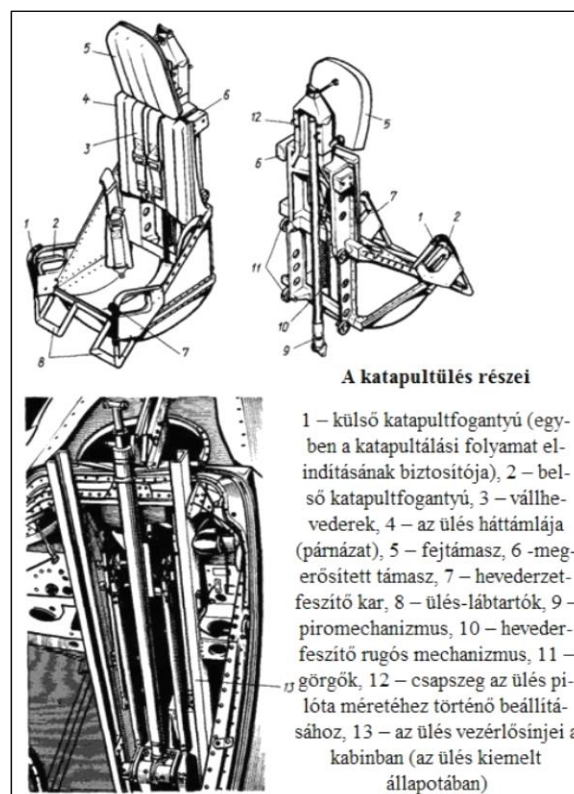
Noha a meg sem indított katapultálási folyamat súlyos tényként jelentkezett a Gagarin – Szerjogin ekvipázs katasztrófájának okát kereső bármely teljes körű kivizsgálás során, ezen a ponton be is lehetne fejezni a tanulmányt az egyéni vészmentő berendezések szempontjából. Én azonban úgy gondolom, hogy az előzőekben említett hármass rendszer fő alkotóelemei szerinti vizsgálat indirekt módon igazolja a személyzet lezuhant gépben történő maradásának – sajnos nem tökéletesen egzakt, de feltételezhető – okát, egészen a becsapódás pillanatáig.

Noha az „ember-gép-környezet” hármass rendszer az „ember”-t állítja első helyre, sajnálatos módon sok esetben bebizonyosodott, hogy valójában ebben ő a „leggyengébb elem”. Mivel a nagysebességű repülés megjelenése elsősorban technikai szinten jelentett új kihívást, éppen ezért én a „gép”-pel kezdem a vizsgálatot, majd folytatom az „ember”-rel, mert az adott berendezés üzemeltetése sok esetben már viszonylag speciális fizikai és egyéb adottságokkal rendelkező kezelőszemélyzet kiválasztását követelte meg. Végül zárom a „környezet”-tel, amelyben az adott „ember-gép” kettős rendszer el kellett, hogy végezze azt a feladatot, amelyre tervezték: a légtér védelmét biztosító pilóta megmentését.

Technikai feltételek

A katapultülés által biztosított technikai lehetőségek

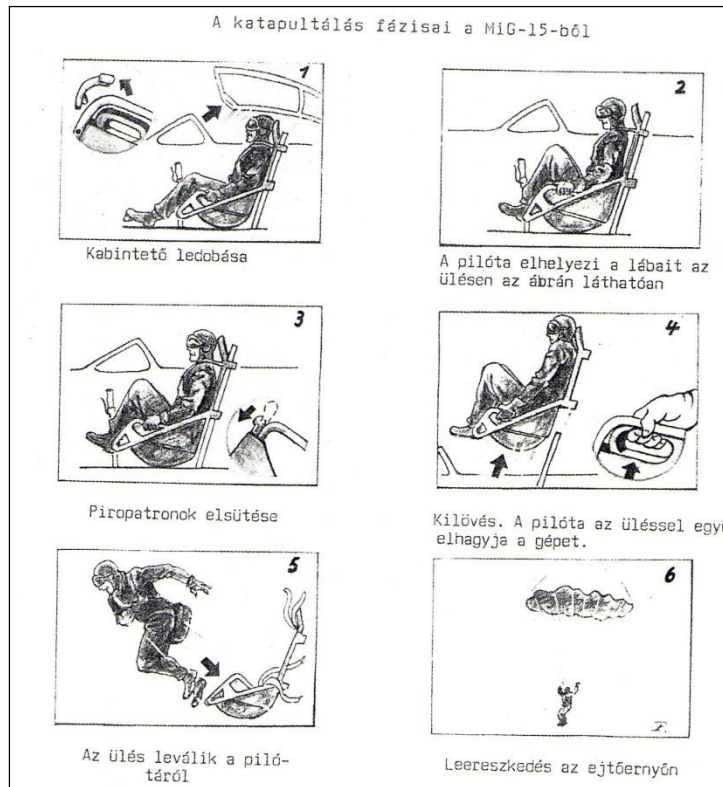
A MiG-15UTI az első szovjet, szériában gyártott katapultüléssel (7. ábra) volt felszerelve.



7. ábra A 1948-ban már sorozatgyártásra bocsátott katapultülés szerkezeti kialakítása¹¹

¹¹ Forrás: SZANISZLÓ ZSOLT: Az orosz katapultülések kifejlesztési folyamatának biztonságtechnikai szempontok szerinti vizsgálata I. (Előtalálható: Hadmérnök on-line folyóirat, 2013. szeptemberi számában.) – a Szerző megjegyzése

A MiG-15UTI-n kívül a Szovjet Légierő MiG-15 és MiG-15bisz típusú repülőgépein is rendszeresített, két évtizede szolgálatban álló katapultülés tervezési folyamata egy korábbi tanulmányomban¹² – szintén egy speciális vizsgálati szempontból, a „Biztonságtechnika tudományának alapjai” című tantárgy alapján – bemutatásra került, így a következőkben csak az üzemeltetési paramétereken belül garantált biztonságos működési folyamat (8. ábra). bemutatására térek ki, lévén, hogy jelen esetben ez a fontosabb.



8. ábra A repülőgévezetők részére készült vázlat a katapultálás végrehajtásának folyamatáról¹³

Ekkor sorrendben:

1. Ledobódik a kabintető.
2. A piropatronok segítségével a teleszkópos rúd kivetíti az ülést a repülőgép kabinjából.
3. Az AD-2-es típusú ejtőernyő-nyitó félautomata¹⁴ – az előre beállított, az ülés megindulásának pillanatától számított – 3 s-os késleltetési idő elteltével kioldja az ülésrögzítő hevedereket az ülésrésztől elhelyezkedő pilóta körül, aki így eltávolodhat az üléstől a levegőben.

¹² SZANISZLÓ ZSOLT: Az orosz katapultülések kifejlesztési folyamatának biztonságtechnikai szempontok szerinti vizsgálata I. és II. (Előtalálhatóak a Hadmérnök on-line folyóirat, 2013. szeptemberi és decemberi számaiban). – a Szerző megjegyzése.

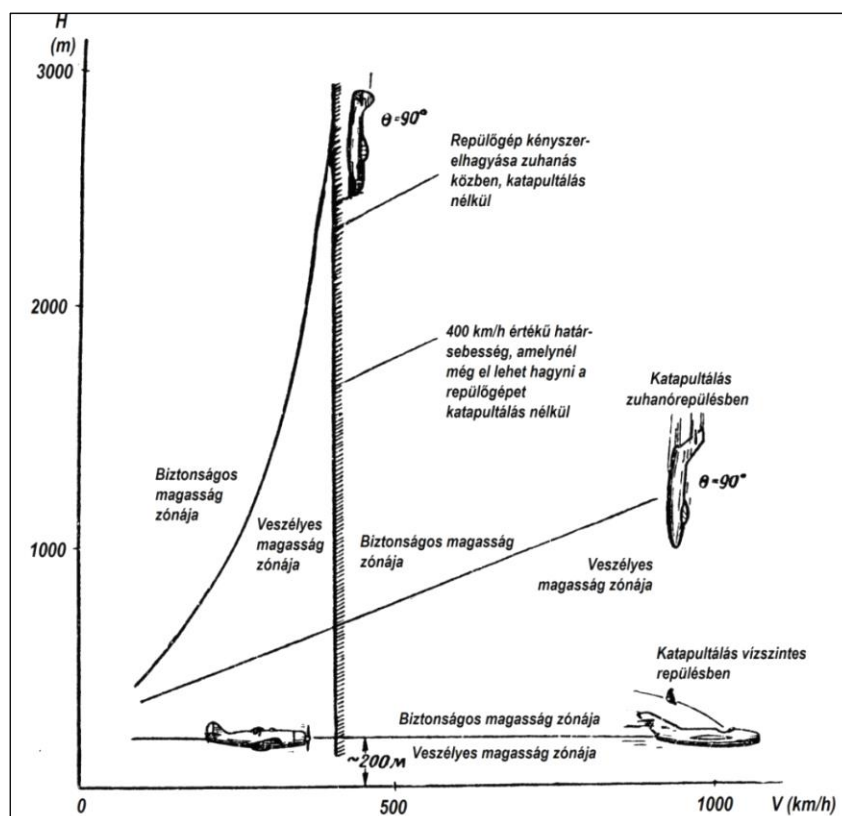
¹³ Forrás: ZSÁK FERENC: Katapultáló magyarok. Aeromagazin, 2009. február, pp. 53.

¹⁴ A barometrikus elven működő ejtőernyő-nyitó félautomata típusjelzése az ejtőernyős-mérnök tervező-fivérek testvérek családjából ered, vagyis: Автомат Доронинов (or. „Doronyinék automatája”). A későbbiekben ezt a nyitóműszert is korszerűsítették és AD-3-as típusjelzéssel került rendszeresítésre. Gagarinék MiG-15UTI típusú repülőgépének katapultülései biztosra vehetően már ezzel a nyitóműszer-modifikációval voltak felszerelve. – a Szerző megjegyzése.

4. Egy másik félautomata ejtőernyő-nyitó mechanizmus gondoskodik az ejtőernyőtok nyitására, amennyiben az az ernyő hevederzetén, egy zsebben elhelyezett kézi kioldófogantyú meghúzásával valamilyen ok miatt, a pilóta által manuálisan nem történt meg. A késleltetési idő ebben az esetben is 3 s, az üléshevederek feloldásától számítva.
5. A katapultált hajózó a biztonságosan belobbant pilóta mentőejtőernyő alatt lengedezve – lehetőleg sérülésektől mentesen – földet ér.

A fenti leírás alapján egyértelmű, hogy a katapultálás – az adott kor más hasonló üléseinek technikai színvonalához hasonlóan – meglehetősen időigényes folyamat volt. Noha automatizált, a legfontosabb aspektus a katapultálásra vonatkozó döntés időben történő meghozása a repülő-hajózó személyzet részéről, valamint az ún. „katapultálási testhelyzet” felvétele volt, a katapultülés technikai lehetőségeinek ismeretében. Ez viszont jelentősen megnövelte a biztonságos katapultáláshoz szükséges időtartamot, így csökkentette a túlélés esélyét.

Azért, hogy a repülő-hajózó állomány idejében képes legyen meghozni a katapultálásra vonatkozó elhatározását, a kezdeti időszakban minimálisan 250–300 m-es földfeletti magasság, valamint maximálisan 700 km/h [4] műszer szerinti repülési sebesség értékét határozták meg, a katapultálás biztonságos végrehajthatóságát szemléltető diagram (9. ábra) alapján.



9. ábra A repülőgép katapultálás segítségével történő kényszerelhagyásának biztonsági zónái, különböző esetekben vizsgálva¹⁵

¹⁵ Forrás: П. К. ИСАКОВ, Р. А. СТАСЕВИЧ: Спасение экипажа при аварии самолёта в полете. Военное Издательство Министерства Обороны Союза ССР, 1957. pp. 171.

Ahogy az egyéni vészmentő berendezések technikai minősége egyre magasabb szintre emelkedett – felhasználva ezzel kapcsolatosan természetesen a sikeresen végrehajtott katapultálások gyakorlati tapasztalatait -, úgy módosult és vált egyre precízebbé az adott katapultülés üzemeltetési utasítása is, amelyeket az adott típust rendszerben tartó országok is át kellett, hogy vegyenek. Ennek megfelelően a Magyar Néphadsereg 1955-ben kiadott, „*A légierő ejtőernyős szolgálatának szabályzata*” című kiadványa a valós vészelhagyás végrehajtásának leírását és azok kritériumait a következőképpen foglalta össze:

„159. Ha a repülőgépvezető energikus tevékenységet végez, a repülőgép elhagyására szükséges idő katapultálásával a repülőgép elhagyására hozott határozat pillanatától kezdve az ejtőernyő kinyitásáig 5–7 mp-cel egyenlő. E mellett a katapultálás minimális veszélytelen magassága a repülőgép különböző helyzetei mellett a következőképpen oszlik meg:

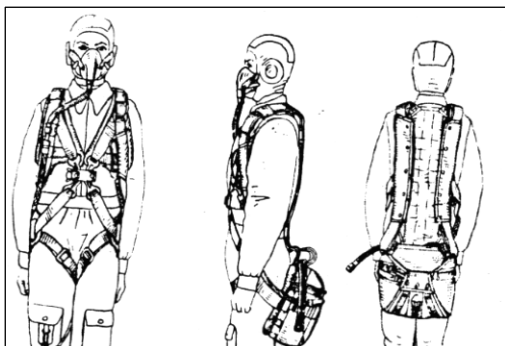
- vízszintes repülés mellett 250 m;
- dugóhúzó és spirálrepülés mellett 500–600 m;
- zuhanórepülésnél – a sebességtől és az állásszögtől függően legalább 1000 m.” [5]

Majd ezt követően, csakis a sikeresen végrehajtott katapultálás, majd a pilóta katapultulástól történő elválását követően kerülhet sor az ejtőernyő nyílási folyamatának megindítására, amelynek biztonságos végrehajtásáért már „a habselyem őrangyal” viselhesse a felelősséget.

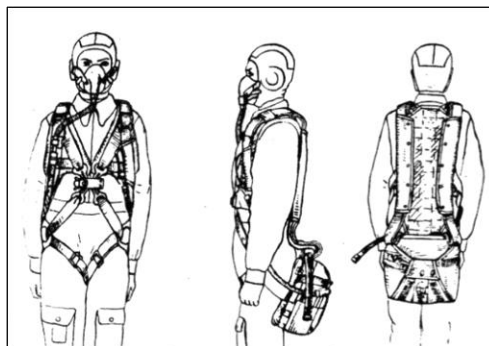
A pilóta mentőejtőernyő által biztosított technikai lehetőségek

A katapultülésben elhelyezett pilóta mentőejtőernyő feladatát az szovjet ejtőernyőgyártás Sz-3 típusjelzésű tagja (10. és 11. ábra) képviselte, melyet az adott katasztrófa idejére már közel egy évtizede tartott rendszerben a Szovjet Légierő.¹⁶

¹⁶ Ezt megelőzően – elsősorban a II. világháborús német katapultulésekben alkalmazott pilóta mentőernyők gyakorlati tapasztalatai alapján – a szovjet katapultulések pilóta mentőejtőernyőiként is ún. szalagejtőernyőt rendszeresítettek, elsősorban az ejtőernyőnyitás rövid késleltetési ideje miatt bekövetkező, nagy intenzitású kupolabelobbanási terhelés csökkentésére. Az elnevezés olyan speciálisan kialakított ejtőernyőt takar, amelynek ún. „konvencionális” (hagyományos) kupolaformája megmaradt ugyan, de az alapvetően nem összefüggő kupolaanyagból, hanem széles szalagokból varrták össze. Ez a kialakítás egy hagyományos kupolaanyag légáteresztő képességét – úgy szólván „a konstrukciós kialakítás segítségével” – sokszorosára megnövelve csökkentette a belobbanási folyamat dinamizmusát, ezáltal a terhelés nagysága mind az ejtőernyős rendszerre (rendszerbiztonsági szempontból), mind az ejtőernyős ugróra (életlani szempontból) vizsgálva, elviselhető maradt. Ez visszavehető kismértékben a szalagok egymáson történő elcsúszására is, [6] ugyanis ennek is van egy minimális fékező hatása a kupola belobbanására. – a Szerző megjegyzése.

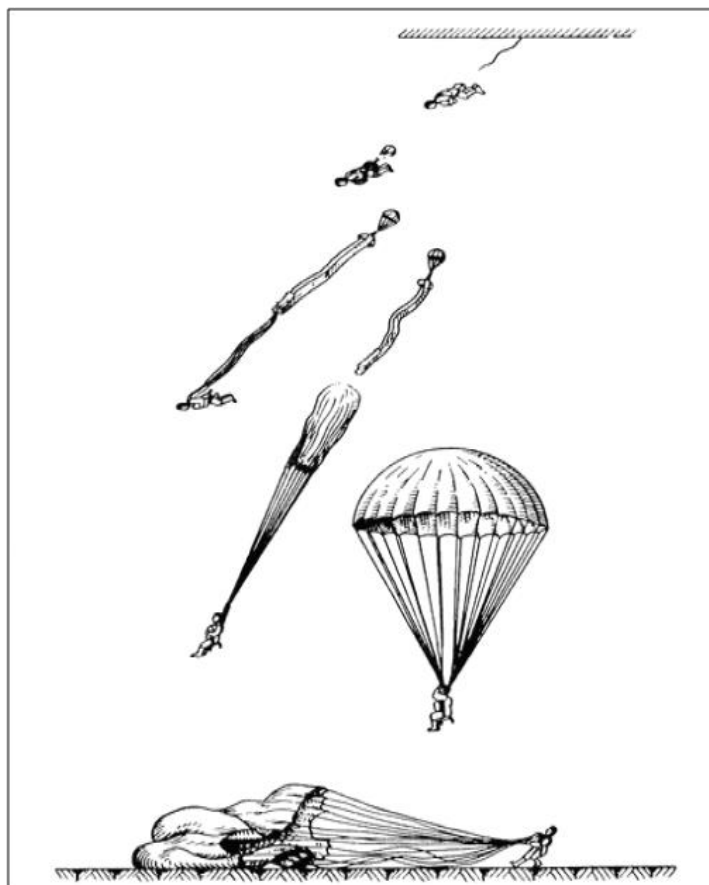


10. ábra Az Sz-3 típusú pilóta mentőejtőernyő általános nézete KP-23 vagy KP-27 típusú ejtőernyős légzőkészülékkel, KAP-3 típusú ejtőernyő-nyitó félautomatával, MLASz-1 mentőcsónakkal¹⁷



11. ábra Az Sz-3 típusú pilóta mentőejtőernyő általános nézete KP-23 vagy KP-27 típusú ejtőernyős légzőkészülékkel, KAP-3 típusú ejtőernyő-nyitó félautomatával, MLASz-1 mentőcsónak nélkül¹⁸

Az Sz-3 típusú pilóta mentőejtőernyő működése egyébként tökéletesen megegyezett a későbbi ülésrészába helyezhető pilóta mentőejtőernyő működési folyamatával (12. ábra).



12. ábra Az ülésrészába rejtett pilóta mentőejtőernyő működési folyamatának vázlata¹⁹

¹⁷ Forrás: Техническое описание парашюта С-3. pp. 3.

¹⁸ Forrás: Техническое описание парашюта С-3. pp. 4.

¹⁹ Forrás: С. М. АЛЕКСЕЕВ, Я. В. БАЛКИНД, А. М. ГЕРШКОВИЧ, В. С. ЕРЕМИН, А. С. ПОВИЦКИЙ, Н. Л. УМАНСКИЙ: Современные средства аварийного покидания самолёта. Москва, Государственное Научно-Техническое Издательство Оборонгиз, 1961. pp. 15.



A típus újdonságát a négyszögletes, levágott sarkokkal ellátott kupolaforma jelentette, amely jó anyagkihozatali tényezőt biztosított a nagy tömegben gyártható, jó minőségű ejtőernyő-technikának. A szovjet ejtőernyőgyártás erre az időszakra ugyanis eljutott oda, hogy olyan kupolaanyagot állítson elő, amely szilárdságilag²⁰ lehetővé tette az új pilóta mentőejtőernyő megbízható alkalmazását 100÷1000 m-es magasságtartományban, legfeljebb 100 kg-os repülési tömeg és 600 km/h repülési sebesség mellett.

A repülőgép 1000÷12000 m-es magasságtartományban, 600 km/h műszer szerinti sebesség mellett történő szükségszerű vészelhagyása is biztosítható lett, ebben az esetben azonban késleltetni kell az ejtőernyő tokjának kinyílását azért, hogy a repülőgépvezető kisebb dinamikus terhelésnek legyen kitéve, valamint biztosítva legyen az ejtőernyő szilárdságának és működőképességének a fenntartása (1. táblázat).

Sorszám	Repülőgép elhagyásának repülési magassága (tengerszint feletti magasság) m-ben	Az ejtőernyők nyitásának késleltetése s-ban
1	1000–7000	Legalább 4
2	7000–12000	Legalább 15
3	12000-nél nagyobb	A késleltetési időt úgy kell meghatározni, hogy az ejtőernyők nyitása legfeljebb 9000 m magasságban történjen meg

1. táblázat Az ejtőernyők nyitási késleltetésére vonatkozó előírások

Az ejtőernyő nyitási késleltetésének kiszámításánál – az 1. táblázat alkalmazásakor – szem előtt kell tartani, hogy a nyitás a terep domborzata felett legalább 500 m-rel történjen meg!

Katapultálható ülessel felszerelt repülőgépeknél a repülőgép megengedett elhagyási sebessége 400-tól 850 km/h műszer szerinti sebességre emelkedik, azonban a minimálisan megengedett magasság legalább 150 m legyen.

Annak ellenére, hogy a repülőgép elhagyása katapultálással 850 km/h műszer szerinti sebesség mellett is végrehajtható, az ejtőernyő tényleges működésbe hozása a megengedett sebességen történik. Ez azzal magyarázható, hogy az ülésleválasztó AD-3 automata a katapultálás után 1,5 s múlva nyitja a bekötőhevedereket, a KAP-3 ejtőernyőműszer pedig legalább 2 s eltelte után lép működésbe és nyitja az ejtőernyőt. A magasságmérő műszer aneroid szelencéje a terepdomborzat felett 500 m-es magasságra állítják be. Ily módon az ejtőernyő teljes összesített nyitási késleltetése legalább 3,5 s-ot tesz ki. Ez az idő teljes mértékben elegendő ahhoz, hogy a repülőgépvezető tényleges sebessége lecsökkenjen a levegőközeg ellenállása révén az ejtőernyő számára megengedett határokig.

Az Sz-3 típusjelzésű ejtőernyő 100 kg repülési tömeg esetén biztosítja a repülőgépvezető stabil leereszkedését és legfeljebb 6 m/s-os értékű földetérési sebességét.

Az ejtőernyő tokjában el lehet még helyezni, az MLASz-1 mentőcsónakot, a KAP-3 ejtőernyőnyitó félautomatát és a KP-23 vagy KP-27 oxigénkészüléket.

²⁰ Ezen szak kifejezés alatt az ipari méretben előállítható, olcsó textil-anyagok ejtőernyőgyártás céljára történő felhasználhatóságának kiszélesedését értem. – a Szerző megjegyzése.

Az ejtőernyő teljes készletének tömege legfeljebb 23 kg. [7]

Mind a katapultülés, mind a pilóta mentőejtőernyő leírásából egyértelművé válik, hogy a katapultált pilóta túlélésében mind a kettőnek döntő szerepe van. Az „ember-gép” rendszerben a pilóta egyedüli feladat csak a teljes katapultálási folyamat megindításához szükséges döntés adott időben történő meghozatala, valamint egy bizonyos mozdulatsor végrehajtása volt, – amely meg kellett előznie a katapultülés fülkéből történő kirepülését – a pilóta saját biztonságának érdekében.

Hogy ezt a két dolgot mennyire volt bonyolult végrehajtani, illetve milyen gátló tényezői lehetnek egy pilóta szemszögéből, a következőkben – „*A személyi feltételek*” című alfejezetben – részletesen kitérek.

Személyi feltételek

Az ún. „végső döntés” meghozatalának pszichológiai aspektusai

Annak eldöntése, hogy a repülőeszköz véglegesen repülésképtelenné válása esetén melyik a helyes megoldás: katapultálni, vagy a repülőgép fülkéjében – viszonylagos szubjektív biztonságban – ülve végrehajtani a kényszerleszállást egy alkalmilag kiválasztott, sokszor nem kiépített, nem szilárd burkolatú repülőterti (tartalék) leszállómezőre, nem könnyű kérdés. Ez minden esetben a gépszemélyzet (parancsnokának) döntésén kell alapuljon, és legtöbbször visszafordíthatatlan folyamat.

Kiindulván abból az általánosan elfogadott véleményből, hogy a pilóták csak a legvégső esetben hagyják magára irányíthatatlanná váló gépüket, – ami „hozzájuk növe” szó szerint értelmezett „ember-gép” kapcsolatot jelent - nagyon sokszor azzal jár, hogy a vészelhagyásra vonatkozó ún. „végső döntés” meghozatala sok esetben már akkor történik meg, amikor nincs esély a személyi pilóta mentőejtőernyővel történő földetérés biztonságos végrehajtására.

Ahhoz, hogy valaki tudatára ébredjen annak, hogy veszélyben van, megfelelő tapasztalatokkal kell rendelkeznie az adott repülési feladat teljes végrehajtásával, annak kockázatos momentumaival kapcsolatosan. Ehhez nélkülözhetetlen ismerni a végrehajtása során bekövetkező minden olyan veszélyes helyzetet, amelynek felismerése azonnali cselekvést, végső esetben pedig a repülőgép vészelhagyását teszi szükségessé.

Az erre történő felkészülést a már említett ún. „repülési rezsim” betartása: az adott típusú repülőeszközzel, meghatározott feladat végrehajtásra történő elméleti és gyakorlati felkészülés (kabintrenázs), az oktató által végzett repülés előtti ellenőrzés nagyban elősegíti, valamint a repülési feladat végrehajtása során a folyamatos műszerfigyelés, a számított repülési és üzemeltetési paraméterektől történő eltérés(ek) rögzítése, értékelése mind egy-egy kis részlete az adott repülési feladat biztonságos végrehajtásának.

Bár egy repülőgép repülés közbeni vészelhagyása senki által nem kívánt esemény, véleményem szerint – mivel Gagarinnak már bizonyíthatóan volt katapultálási tapasztalata²¹ –, az ő esetében nem

²¹ Azt a tényt, hogy Gagarin az űrrepülésének végső fázisát jelentő földetérési szakaszt nem a Vosztok-1 leszállóegységében ülve hajtotta végre, hanem abból, még a leszállóegység saját ejtőernyőrendszerének működésbe lépését megelőzően katapultált – az előre meghatározott űr(repülési) program szerint –, bár ennek tényét 7 éven (!)



jelentkezhetett a katapultálástól, mint ismeretlentől való félelem. Egy esetleges újabb vészelhagyás végrehajtása nem okozhatott neki az újdonságtól való előzetes tartózkodást, illetve félelmet, főleg annak ismeretében, hogy az egy világraszóló repüléstörténelmi esemény záró momentuma lett.

Emellett természetesen a személyi vészmentő berendezésekbe, ejtőernyőbe vetett abszolút bizalom is elősegítheti a repülőgép elhagyására vonatkozó ún. „végső döntés” meghozatalát. Ez már szorosan a repülő-hajózó állomány kiképzéséhez kapcsolódik.

A továbbiakban ezeket vizsgálom meg.

A hajózószemélyzet ejtőernyős, valamint egyéni vészelhagyó rendszerekkel kapcsolatos kiképzettségének vizsgálata

A szovjet rendszerű repülő kiképzésben a repülő-hajózó állomány egyéni vészmentő berendezéseivel kapcsolatos kiképzés ágazat különös fontossággal bír. Mivel mind a Magyar Néphadsereg, mind a Magyar Honvédség szovjet/országi repülőtechnikán szolgálatot teljesítő repülő-hajózó állománya alapvetően az ún. „keleti kiképzési rendszer”-ben, valamint az abból származtatott hazai kiképzési rendszerben nevelődött, ennek, hasznosságát meg tudja erősíteni.

A hajózószemélyzet ejtőernyős kiképzettségének vizsgálata

Egyértelműen kijelenthető, hogy a szovjet rendszerű gyakorlati repülő kiképzést minden esetben megelőzte egy valamilyen szintű ejtőernyős kiképzés – mind a Szovjet Légierőben, mind a DOSZAAF²²-ban -, amely sok esetben csak minimális számú ejtőernyős ugrást foglalt ugyan magába, de kiképzési módszertanát tekintve sokat jelentett a későbbi polgári és/vagy katonai repülő-hajózó állomány egyéni mentőeszközeibe vetett feltétlen bizalom kialakításának szempontjából.

Gagarin, valamint az ún. „Gagarin-érában” kiképzett kozmonauta állomány kb. 5 ejtőernyős ugrás gyakorlati tapasztalatával rendelkezett csak az űrhajós kiképzését megelőzően, majd a megszerzett ejtőernyős készséget és képességet tudatosan megnövelték. A Voszok-repülések során az akkor biztonságos, leszállóegységtől független egyéni pilóta mentőejtőernyővel végrehajtott földetérésre tudatosan készülve, egy 40 ugrásból álló, meglehetősen alapos kiképzési programot hajtottak végre.²³

Továbbá azt is érdemes kiemelni, hogy – szemben az amerikai asztronautákkal - a kozmonautáknak a további kiképzés során is volt lehetőségük ejtőernyős ugrások végrehajtására. [9]

A hajózószemélyzet egyéni vészelhagyó rendszerekkel kapcsolatos kiképzettségének vizsgálata

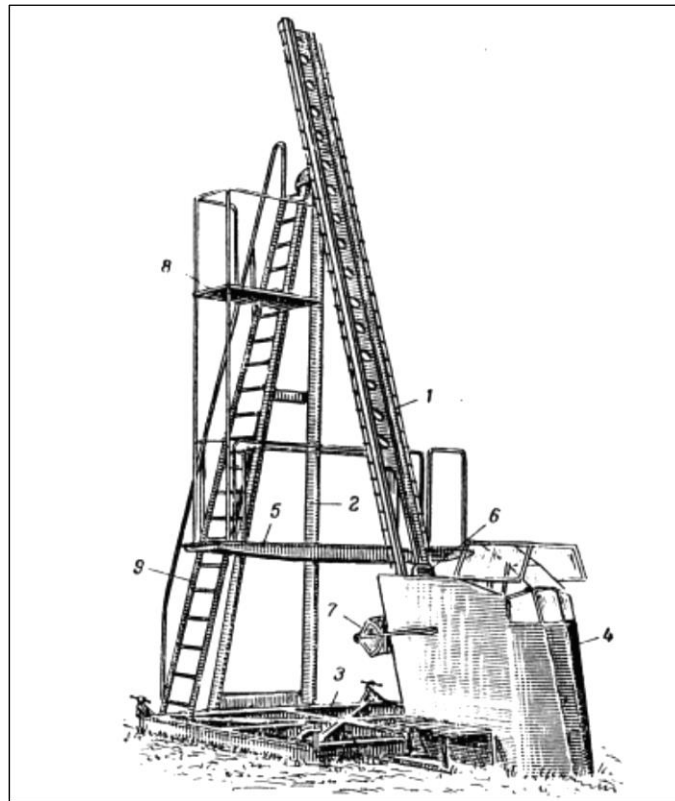
A MiG-15, MiG-15bisz és UTI típusú repülőgépek esetében a Szovjet Légierő repülő-hajózó állománya az NKTL-3 típusú berendezést (13. ábra) [10] használta, ezen kellett begyakorolniuk

keresztül hivatalosan nem ismerték el a szovjet hatóságok. Ennek vélt vagy valós okai megtalálhatóak SZANISZLÓ ZSOLT: „Űrhajósok ejtőernyővel I. A szovjet/országi kozmonauták” című tanulmányban. (Előtalálható: www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/64_Szaniszlo_Zsolt.pdf) – a Szerző megjegyzése.

²² A Hadsereget, a Légierőt és a Hadiflottát támogató Össz-szövetségi Önkéntes Társulás.

²³ A sikeres kiképzés résztvevői ejtőernyős oktatói jelvény viselésére is jogosultságot szereztek, [8] amely mind az akkori Szovjetunióban, mind a mai Oroszországban általános tiszteletnek örvend. Gagarin – az általa viselt oktatói jelvény alapján feltételezve – 100-nál több ejtőernyős ugrást teljesített. – a Szerző megjegyzése.

– az előzőekben már említett –, vészelhagyást megelőző mozdulatsort, valamint kipróbálhatták a katapultálás érzését is, gyengített piropatronok segítségével [11].



13. ábra A földi telepítésű NKTL-3 gyakorló katapult berendezés vázlata²⁴

Történt mindez annak a pszichológiai ténynek az ismeretében, hogy az ismeretlentől – katapultálás folyamatától, illetve annak következményeitől – való félelem ne blokkolja le magát a cselekvési folyamatot.

Egyéb befolyásoló körülmények...

A repülést megelőző időszak általános jellemzői

Bár minden bizonnyal pontos, tényszerűen sokkoló adatokat lehetne arra vonatkozóan leírni, hogy Gagarin az űrrepülését követően pontosan mennyi időt tölthetett el sugárhajtású MiG-15 kabinjában, alapvetően ennek értéke vagy zérus volt, vagy csak minimálisan lehetett fölötte. Arra, hogy valamikor meglévő repülési jártasságát fenntartani a katasztrófát megelőző közel 7 év során – miközben egyszerű beosztott repülőgépvezetőből a világ első kozmonautája lett -, miért nem kapott lehetőséget „odafentről”, nem akarok magyarázatot keresni... Nyilvánvalóan neki lett volna igénye rá, – mivel „Egy pilóta ugyanis mindig pilóta marad” –, sőt a kozmonauták kiképzésének is része²⁵ maradt mind a mai napig (!), csak neki nem engedték...

²⁴ Forrás: С. М. АЛЕКСЕЕВ, Я. В. БАЛКИНД, А. М. ГЕРШКОВИЧ, В. С. ЕРЕМИН, А. С. ПОВИЦКИЙ, Н. Л. УМАНСКИЙ: Современные средства аварийного покидания самолёта. Москва, Государственное Научно-Техническое Издательство Оборонгиз, 1961. pp. 271.

²⁵ A(z űr)repüléshez nem hozzáértő személy minden bizonnyal kijelentené, hogy egy sugárhajtású repülőgépet minden bizonnyal teljesen más irányítani, mint egy alapvetően automatikus üzemmódra tervezett, személyszállító kozmikus eszközt, így egyáltalán nem éri meg a nem kevés anyagi ráfordítást ez a „haszontalanság”. Erre ismét

Egyedüli és biztonságos esélye pedig csak így lett volna a jártasság fenntartására szerteágazó teendői mellett: mint a világ első űrhajósa számtalan protokolláris feladatot kapott, kinevezték a szovjet kozmonauták csoportjának parancsnokává, felügyelte a kiképzési programok végrehajtását, az új űrrepülő-programokra történő felkészülést, miközben maga is felsőfokú tanulmányokat folytatott. A katasztrófa előtt röviddel, 1968 februárjában [12] államvizsgázott a moszkvai Zsukovszkij Repülőmérnöki Akadémián...

Végül 1968. március 13-án mégis megkezdhette az ún. visszaállító gyakorlati repülőképzési programját, amelynek során a katasztrófa bekövetkezéséig, 8 repülési nap során összesen 18 felszállás során 7 órát repült. Állítólag az adott napon, március 27-én került volna sor az utolsó ellenőrző repülési feladat végrehajtására oktatóval, amely után már ismét egyedül repülhetett volna...

Az ún. „repülési rezsim” általános jellemzői

Az áttanulmányozott szakirodalomban egyetlen olyan utalást sem találtam, miszerint a repülőgép személyzete – az okmányok alapján - megszegte volna repülési feladatra történő felkészülésre (általános-, előzetes. és közvetlen felkészülés) vonatkozó, kötelezően betartandó előírásokat, valamint a repülési napot megelőző pihenést, a startorvosi vizsgálaton való részvételt, a meteorológiai szolgálatnál és a repülésvezetőnél történő kötelező lejelentkezést, stb. összefoglaló néven az ún. „repülési rezsim”-et. Ráadásul, – ahogy a tanulmány elején már leírtam – ez volt a kivizsgáló bizottság megállapítása is. [13]

Egyetlen, nem visszaellenőrizhető forrás említi meg az oktató-repülőgépvezető és a repülésvezető négy szemközti, fültanúk nélküli komoly szóváltását, vitáját, közvetlenül a repülés előtt. Állítólag ezt követően Szerjogin meglehetősen nyomott hangulatba került, a reggelijét sem fogyasztva el foglalta el helyét a hátsó kabinban, majd szállt fel Gagarinnal a repülési feladat végrehajtására.

A repülőgép előkészítése a repülési feladathoz

Ugyancsak egyetlen, nem visszaellenőrizhető forrás utal arra, miszerint a Gagarin – Szerjogin ekvipázs repülőgépeinek mindkét szárnya alá a repülést kiszolgáló állomány tévedésből (?) külső póttartályokat függesztett fel, amelyek az eredeti függesztési vázlaton nem szerepeltek. Mivel az idő is kezdett romlani, valamint a személyzet sem akart a tartalék repülőgéppel elmenni a repülési feladat végrehajtására, így kerülhetett sor a külső póttartályos géppel való repülésre.

Igaz ugyan, hogy a függesztett külső póttartályok meglete jelentősen befolyásolja a repülőgép repülési jellemzőit, - ez különösen felhőben repülve, az ún. „bonyolult helyzet”-be kerülés egyik tipikus esetében, a térbeli helyzet elvesztésénél, a repülési egyensúly helyreállításánál jelenthet komoly veszélyforrást -, viszont a fellelhető szakmai előírások szerint egyáltalán nincs kihatással a katapultálás végrehajtásánál betartandó sebességi és magassági paraméterekre, annak biztonságos végrehajthatósága szempontjából.

nem tervezek jelen tanulmányban bővebben kitérni, de azt pszichológusok is megerősíthetik, hogy az ilyen módon megszerzett manuális készség igenis kifizetődött több olyan esetben is, amikor a kozmonautának át kellett vennie az űrhajó vezérlését... – a Szerző megjegyzése

SAJÁT KÖVETKEZTETÉSEIM

A visszatérés során vagy az alsó felhőréteg áttörésekor, vagy az alá süllyedve érte olyan hatás a 18-as oldalszámú MiG-15UTI-t, amelynek következtében az dugóhúzóba, vagy zuhanásba kényszerült. Az előre nem tervezett repülési figura során mérvadó, függőleges irányban megtett út – dugóhúzó esetén a perdületekenkénti magasságvesztés, míg zuhanás esetén az abból történő kivételének magassága -, óhatatlanul jelentős értékű varióval végrehajtott – a személyzet által többé-kevésbé kontrollálhatatlan süllyedéshez vezetethetett. A térbeli helyzet elvesztését követően – már az az alsó felhőrétegben repülve – a hajózószemélyzet feltehetően folyamatos küzdelmet folytathatott a repülőgép stabil repülési helyzetbe való visszatérésiért.

Felhőben, nem tudatosan vezetett manőverek során irányíthatatlanul zuhanva, a saját térbeli helyzet megállapítása különösen bonyolult csak a műszerekre hagyatkozva. Ez különösen érthető a MiG-15UTI repülőgép műszerfalán (14. ábra) található AGI-1 műhorizont „a normálistól eltérő” általános kinézetének (a fekete tartomány jelenti a horizont feletti eget, míg a világoskék tartomány a horizont alatti földfelszínt (!)²⁶, valamint működési megbízhatóságának²⁷ ismeretében.



14. ábra A MiG-15UTI első fülkéjének mellső műszerfala²⁸.

A műszerfal felső részén, balra középen látható az AGI-1 típusú műhorizont, tőle balra lejtve, a barometrikus működésű magasságmérő, míg az alatt az RV-2 típusú rádió-magasságmérő

A fentiek alapján feltételezem, hogy a személyzet elsősorban az alsó felhőréteg áttörését követően – a valós horizont megpillantása után – lett volna csak képes a térbeli helyzet tényleges

²⁶ Ez állítólagosan arra vezethető vissza, hogy az adott műszert elsősorban a Szovjet Haditengerészet számára készítették, és a tengeralattjárókon történő alkalmazása során ugyanez a beépítés: felül a fekete tartomány a veszélyt jelenti, ahol az ellenséges tengeralattjáró-elhárítás tevékenykedik, míg alul a kék tartomány a biztonságos menekülési zónát, a tenger kék mélységét szimbolizálja. – a Szerző megjegyzése.

²⁷ Még az AGI-1K műhorizont, az AGI-1 - többek között a Magyar Honvédség Jak-52 típusú oktató-gyakorló repülőgéptípusán is alkalmazott, - módosított változata is sok esetben pontatlan értéket jelez ki, vagyis működése különösen nagy bedöntésű és bólintású repülések alkalmával megbízhatatlan. [14] – a Szerző megjegyzése.

²⁸ Forrás: url: http://www.flickr.com/Picture_of_the_Mikoyan-Gurevich_MiG-15UTI_aircraft/1719289.jpeg (2014.03.09.)



megállapítására, miközben elég nagy vertikális irányú sebességgel haladtak a földfelszín irányába. Tehették ezt olyan módon, hogy a tényleges felhőalap adott földrajzi pontban ténylegesen meglévő, földfelszíntől mért távolságával sem lehettek tökéletesen tisztában. Ugyanis a csak barometrikus alapon működő fedélzeti magasságmérő műszer a helyes vonatkoztatási nyomásérték beállítása mellett csak közelítően pontos repülési magasság értéket szolgáltat, míg a fedélzeten elhelyezett RV-2 típusú rádió-magasságmérő csak kis repülési magasságú repülési feladat végrehajtásakor alkalmazható hatásosan.

Ebből kifolyólag az alsó felhőréteg áttörését, majd a természetes horizontot megpillantva tudatosulhatott csak a személyzetben a repülőgép valóságos térbeli helyzete, amikor kb. 500 m-es földfelszín feletti magasságban lehettek. Az adott időjárási viszonyok (az alsó felhőréteg földfelszíntől mért távolsága), valamint az emberi reakcióidő ismeretében – még akkor is, ha ennek a lehetősége a személyzet tagjainak agyán a felhőben süllyedve előzetesen már felmerülhetett -, ekkor jöhetett el az - előzőekben már többször említett -, ún. „végső döntés” pillanata. De ez ténylegesen csak egy pillanatot jelenthetett, a vizsgált esetben pedig szó szerint véve ennek a kifejezésnek a jelentését.

Az egyéni vészmentő berendezés – a katapultülés – pilóta mentőejtőernyő komplexum – gyártó által garantált alkalmazási paraméterei ekkor már nem tették volna lehetővé a személyzet megmenekülését...

Feltételezem azt, hogy a Gagarin – Szerjogin ekvipázs is „*A katapultülés által biztosított technikai lehetőségek*” című fejezetben idézett szabályzat szerinti paramétereket akarta betartani repülőgépük soha meg nem valósuló kényszerelhagyása előtt, akkor az előírtak szerint jártak el. Viszont a katapultálás előtti testhelyzet felvétel még újabb idő elvesztésével járt volna, és ennek során fizikailag lehetetlen minden erővel a repülőgép megmentésén fáradozni, hiszen folyamatosan rajta kell tartani a kezeket és a lábakat a kormányoszlopon... Nyilvánvalóan ezért küzdött tovább a személyzet a fülkében

A hivatalos vizsgálat alapjául szolgáló végső repülési paraméterek, valamint a repülőgép földfelszínhez történő becsapódási szöge, a gödör mérete alapján elvégzett aerodinamikai számítások szerint kb. 250–300 m-es magasságtartomány, illetve 2 s-ra [15] lett volna még szükség a zuhanásból történő kivételhez, és a repülőgép, valamint a személyzet megmeneküléshez...

BEFEJEZÉS

A repülőkatasztrófát követően a világ ismét gazdagabb lett egy legendával, egy olyan ember sorsán keresztül, aki 108 perces (úr)repülésével örökre beírta nevét az emberiség történelmébe. A Gagarin és Szerjogin halálának helyszíne – egy légcsavart szimbolizáló vörösmárvány emlékmű rajta a Gagarin – Szerjogin ekvipázs profiljával (15. ábra) – évtizedek óta repüléstörténelmi emlékhely, ahol tömegek rójják le kegyeletüket a repülőhalált halt személyzetre emlékezve. Ezt nagyban elősegíti az a néhány éve Kirzsacs városka mellett létrehozott emlékműzeum is, amelyben Gagarin több használati- és emléktárgya is megtekinthető, az udvaron pedig egy, az oldalán 18-as számot viselő MiG-15UTI (16. ábra) áll mementóként, emlékeztetve az embereket a világ első űrhajósának (17. ábra) tragédiájára.



15. ábra Gagarin és Serjogi emlékműve az erdőben, a lezuhanás színhelyénl²⁹



16. ábra A múzeum udvarán kiállított, 18-as oldalszámot viselő MiG-15UTI³⁰



17. ábra A katapultülésben ülő Gagarinról készült utolsó felvétel, közvetlenül a repülés előtt...³¹

Memento mori...

²⁹ Forrás: A Szerző gyűjteményéből.

³⁰ Forrás: A Szerző gyűjteményéből.

³¹ Forrás: A Szerző gyűjteményéből.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CZEGLÉDI JÁNOS, AMACZI VIKTOR: In memoriam Gagarin – Szerjogin. Az utolsó tizenkét perc..., Repülés, Ejtőernyőzés 1988/4. pp. 12. (А Наука и Жизнь 1987/5 száma alapján.)
- [2] Re/180 UTI MiG-15 repülőgép. Műszaki leírás. Első könyv. A repülőgép repülési jelleggörbéi. A Honvédelmi Minisztérium kiadása. 1960. pp. 3.
- [3] Dr. KISS SÁNDOR MK. ALEZREDES: Biztonságtechnika alapjai. Főiskolai jegyzet, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Főiskolai Kar, Budapest. 2004. pp. 16.
- [4] А. Г. АГРОНИК, Л. И. ЭГЕНБУРГ: Развитие авиационных средств спасения. Издательство Машиностроение, Москва, 1990. pp. 104.
- [5] A légierő ejtőernyős szolgálatának szabályzata. A Magyar Népköztársaság Honvédelmi Minisztériuma Kiadása, Budapest. 1955. pp. 38.
- [6] Repülési lexikon. Második kötet M-Z. Akadémiai Kiadó, Budapest. 1991. pp. 337.
- [7] Re/552 Az ejtőernyők szerkezete, felépítése és üzemeltetése. A Honvédelmi Minisztérium kiadása. 1964. pp. 21-33.
- [8] J. A. GAGARIN: Utazás a világűrben. Táncsics Könyvkiadó Budapest, 1962. pp. 121.
- [9] Űrhajósok ejtőernyős ugrása. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1984/6. pp. 31-32.
- [10] В. Г. РОМАНИЮК: Заметки парашютиста-испытателя. Военное Издательство Министерства Обороны СССР, Москва, 1973. pp. 250.
- [11] GYŐRI JÁNOS: A magyar katonai repülés kronológiája 1945-2008. Zrínyi Kiadó, Budapest 2009. pp. 134.
- [12] Űrhajózási lexikon. Budapest, Akadémiai Kiadó, Zrínyi Katonai Kiadó, 1984. pp. 196.
- [13] CZEGLÉDI JÁNOS, AMACZI VIKTOR: In memoriam Gagarin – Szerjogin. Az utolsó tizenkét perc..., Repülés, Ejtőernyőzés 1988/4. pp. 12. (А Наука и Жизнь 1987/5 száma alapján.)
- [14] URBÁN ISTVÁN ŐRNAGY: A Magyar Köztársaság katonai repülőeszközeinek és helikoptereinek fedélzeti navigációs berendezései, korszerűsítési lehetőségei. PhD értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2005. pp. 70. (online)
url: http://www.uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2005/urban_istvan.pdf (2014.03.05)
- [15] CZEGLÉDI JÁNOS, AMACZI VIKTOR: In memoriam Gagarin – Szerjogin. Az utolsó tizenkét perc..., Repülés, Ejtőernyőzés 1988/4. pp. 12. (А Наука и Жизнь 1987/5 száma alapján.)

Horváth József¹

SIGINT REPÜLŐGÉPEK²

Napjainkban a SIGINT³-nek nagy jelentősége van a különböző konfliktusokban. A SIGINT eszköz lehet földi telepítésű, hajóra, repülőgépre vagy műholdra telepített. Fontos kiemelni azt, hogy ezen eszközök kezelőállományának – természetesen ebbe beleértve a SIGINT és elektronikai hadviselési szakembereket is - a feladata már békeidőben vagy a konfliktus kezdeti időszakában elkezdődik, mivel különböző adatbázisokat kell létrehozniuk a lehetséges alkalmazási területekről. Az adatbázisok alkalmazásának célja alapvetően a parancsok döntéshozatalának hatékony támogatása, felderítő információk biztosítása, azonban a rendelkezésre álló adatok önvédelmi célra is felhasználásra kerülhetnek. Cikkemben szeretnék egy rövid áttekintést adni a SIGINT-ről és az elektronikai hadviselésről és ismertetném a SIGINT és az elektronikai hadviselés alkalmazása közötti különbséget a JAS-39 Gripen önvédelmi rendszerének elemzésével. A cikk végén pedig bemutatok néhány korábbi műveletet és jelenleg alkalmazott SIGINT repülőgépet.

SIGINT AIRPLANES

Nowadays, the SIGINT has a major role in the different conflicts. The SIGINT equipments can be ground-based, or can be installed in a ship, an aircraft or a satellite. We have highlight, that the task of these equipments and their crews – including the SIGINT and Electronic Warfare experts as well - starts in the peacetime or in the early period of the conflict, because they have to create different databases. The primary aim of these databases is to support effectively the commander's decision-making and to provide intelligence information, but the available dates can be used for self-defence as well. In the article, I would like to give a short overview about the SIGINT and Electronic Warfare and I would like to emphasize the difference between the SIGINT and the use of the Electronic Warfare in the electronic self-defence system of the JAS-39 Gripen. At the end of the article I would like to introduce some previous missions and current SIGINT aircrafts.

BEVEZETÉS

A cikkben szeretném bemutatni a SIGINT repülőgépek alkalmazását. Ehhez az első fejezetben elemzem a SIGINT és az elektronikai hadviselés kapcsolatát, illetve bemutatom a SIGINT egyik, a cikk szempontjából releváns és kevésbé ismert területét. A második és harmadik fejezetben pedig a repülőgépek néhány korábbi bevetését illetve a jelenleg alkalmazott főbb repülőgéptípusokat mutatom be.

I. SIGINT ÉS AZ ELEKTRONIKAI HADVISELÉS

A SIGINT és az elektronikai hadviselés kapcsolata

Amikor kémrepülőgépekkel kapcsolatos cikkeket olvasunk, egyre több alkalommal találhatjuk szembe magunkat olyan fogalmakkal, mint SIGINT, ELINT⁴, COMINT⁵, vagy elektronikai

¹ Horváth József, horvath0101@gmail.com

² Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com

³ Jelfelderítés, Signal Intelligence, SIGINT

⁴ Rádiótechnikai felderítés, Electronic Intelligence, ELINT

⁵ Rádiófelderítés, Communication Intelligence, COMINT

hadviselés. Ahhoz, hogy tiszta képet kapjunk ezekről a fogalmakról, elsőként érdemes a gyűjtőfogalmakkal kezdeni. Az angol terminológiából átvett SIGINT kettő területből tevődik össze, ezek a COMINT, azaz a rádiófelderítés és az ELINT, azaz a rádiótechnikai felderítés. Sok esetben megfigyelhető, hogy a SIGINT elnevezést használják olyan esetekben is, amikor egyszerűen csak annak egyik részterületéről van szó. Az elektronikai hadviselés három eleme közül (elektronikai támogató tevékenység⁶, elektronikai ellentevékenység⁷, elektronikai védelem) az elektronikai támogató tevékenység az, amit sok esetben összetévesztenek a SIGINT-vel. [1][2]

Mindkettő tevékenység - az elektronikai támogató tevékenység és a SIGINT is - az elektromágneses spektrum szemben álló fél által történő felhasználását figyeli. Mivel mindkettő tevékenység ugyanazon elektromágneses spektrumot figyelve és elemezve jut információhoz, eszkörendszerük sok esetben azonos vagy hasonló paraméterekkel bíró rendszer is lehet. Az elektronikai támogató tevékenység által szolgáltatott harci információt elektronikai ellentevékenységhez, tűzérési tűz kiváltásához vagy légicsapás tervezése során használják fel, a megszerzést követően viszonylag rövid idő alatt. A SIGINT tevékenység által szolgáltatott információkat a parancsnoki döntéstámogatás folyamatába építik be. [3]

A SIGINT kevésbé ismert területe az ELINT, mint rádiótechnikai felderítés a radarok elterjedésével alakult ki. Célja, hogy a szemben álló fél radarjairól, rádiólokációs eszközeiről (helyzet, működés, stb.) passzív eszközökkel információt szerezzünk. Első alkalmazására a németeknél került sor a II. világháború során, amikor az angol bombázók radarjai kisugárzásának érzékelésére alkalmas eszközöket helyeztek el a tengeralattjáróikon. A legelső SIGINT eszközként számon tartott rádiótechnikai eszközök a különböző frekvenciatartományban üzemelő „KORFU” és „NAXOS” elnevezésű berendezések voltak. Fontos, hogy ezen eszközök elsődlegesen önvédelmi célt szolgáltak - hasonlóan a jelenleg az MH rendszerében meglévő JAS⁸-39 Gripen elektronikai hadviselési rendszeréhez -, feladatuk volt az adott technikai eszközt ért besugárzásról tájékoztatni a pilótát vagy tengeralattjáró parancsnokát a támadás hatékony elhárítása érdekében. Repülőgépek esetében ebben az időszakban kitérő manőverekről beszélhetünk, míg a tengeralattjárók esetében például a mélyebbre merülés jelentette a megoldást. [4]

Fontos az, hogy különbséget tegyünk az elektronikai támogatási képességet saját önvédelem miatt alkalmazó vagy a kimondottan ELINT vagy SIGINT célra kialakított eszközök, platformok között. A JAS-39 Gripen önvédelmi célú elektronikai hadviselési rendszere minden irányból képes a kisugárzások vételére a repülőgép környezetében. A rendszerben tárolt adatokkal összehasonlítva beazonosítja, hogy milyen típusú kisugárzó eszközről (radar, repülőgép, stb.) van szó, és ezt az információt egy kijelzőn keresztül továbbítja a pilóta részére. Természetesen erre csak akkor képes, amennyiben az adott kisugárzással azonos paraméterű alapadat elérhető a repülőgép elektronikai hadviselési rendszerében. Az azonosított kisugárzó eszköz típusa alapján kerülnek alkalmazásra az ellentevékenység lehetséges fajtái a szükséges mértékben. Az előző fejezetben már említett kitérő manőver kiegészülhet például infratöltetek, dipólók szórásával, zavarás alkalmazásával vagy ezek kombinációjával. Fontos kiemelni, hogy ebben az

⁶ Szintén alkalmazott megnevezés: elektronikai megfigyelés, electronic surveillance, ES. A szerző megjegyzése.

⁷ Szintén alkalmazott megnevezés: elektronikai támadás, electronic attack, EA. A szerző megjegyzése.

⁸ JAS: Jakt (vadász), Attack (támadó), Spaning (felderítő) svéd szavak kezdőbetűiből alkotott rövidítés.

esetben a JAS-39 Gripen elektronikai hadviselési rendszere elektronikai támogatási feladatot végez, így szolgáltatva adatokat az elektronikai ellentevékenységhez. Azonban a rendszer által megszerzett adatok később ELINT célokra is felhasználhatóak. Véleményem szerint ettől azonban még nem vált a köztudatban is ismert ELINT repülőgéppé. [5]



1. ábra A JAS-39 Gripen pilótafülkéje [6]

Az elektronikai harcrend⁹ kialakítása

A különböző műveletekben a SIGINT tevékenység egyik legfontosabb produktuma a szemben álló félre vonatkozó elektronikai harcrend (a továbbiakban a NATO-ban alkalmazott megnevezéssel EOB). Az EOB fontossága abban rejlik, hogy a kommunikációs és nem kommunikációs kisugárzó eszközök jellemző paramétereit tartalmazza, így például a kisugárzó eszköz típusát, rendeltetését (pl. meteorológiai lokátor, navigációs lokátor, fegyverrendszerhez kapcsolódó lokátor, stb.), működési jellemzőit (pl. moduláció, frekvencia, impulzus ismétlődési frekvencia, impulzus hossz, stb.). Ezen adatok ismeretében következtethetünk a szemben álló fél képességére, várható tevékenységére. [7]

Egy jól kidolgozott EOB minden részletet tartalmaz az ismert elektronikai kisugárzó eszközökről a felelősségi területen¹⁰ belül, a saját és szövetséges, a szemben álló valamint a semleges erők vonatkozásában. A jelenlegi technikai fejlettség miatt egy részletesen kidolgozott EOB rendkívül bonyolult ábrát jelent. Az EOB alapját az adott felelősségi területre vonatkozó adatbázisok szolgáltatják. Ez lehet a NATO kisugárzó eszközök adatbázisa (NEDB¹¹) vagy a területről rendelkezésünkre álló saját adatbázis (SIGINT forrás). A pontosítások elvégzése a feladatban résztvevő más nemzetek által történő adatszolgáltatás vagy az előző fejezetben említett tevékenységekre kifejlesztett (pl. SIGINT hajókkal, repülőekkel, stb.) vagy arra alkalmas (pl. JAS-39 Gripen EHV rendszere) eszközökkel történhet. A jelentés végleges formája lehet írásos formátum, powerpoint bemutató vagy térképalapú megjelenítés. [8]

Az EOB frissítésének egyik lehetséges módjára egy nem túl régen nem túl régen lejátszódott esemény szolgáltatja a példát. A szíriai légvédelem 2012. június 24-én lelőtt egy, a török légi-erőhöz tartozó fegyvertelen F-4E típusú repülőgépet. Törökország álláspontja szerint a repülőgép véletlenül lépett be a szíriai légtérbe, és azonnal elhagyta azt a török légiirányítástól kapott

⁹ Elektronikai harcrend, Electronic order of battle, EOB

¹⁰ Felelősségi terület, Area of Responsibility, AOR

¹¹ NATO kisugárzó eszközök adatbázisa, NATO Emitter Database, NEDB

figyelmeztetést követően. A repülőgép a LOROP¹² rendszert hordozta, amely nagy távolságról és nagy magasságban is képes jó minőségű képek¹³ készítésére. Emiatt a szakértők - figyelembe véve a repülés profilját is - sokkal valószínűbbnek tartanak egy alacsony magasságon végrehajtott felderítő repülést, egy ELINT információgyűjtést, mint a török hivatalos bejelentésben szereplő kiképzési repülést. A repülés célja a szíriai légvédelem tesztelése lehetett, mellyel kritikus információk kiadására készítették őket a radar és tűzvezető rendszerek aktivizálásával. [9]

A különböző forrásokból származó információk alapján pontosított EOB-t az arra jogosult szervezetek között osztják meg az elektromágneses spektrumban történő hatékony együttműködés érdekében. Az alábbi képen egy részlet látható az iraki haderőről 1991-ben, az Öböl háború során készített EOB-ból. [10]

Radar Type/Code	Role	Band	PRF	Peak Pwr	Range	Platform
		[-]	[pps]	[kW]	[nm]	
Strategic Early Warning/Air Defence						
P-35M/37 Bar Lock	GCI/EW	E-F	375	650/beam	125	trailer
PRV-11 Side Net	HTF	E	-	-	95	trailer
Early Warning/Target Acquisition						
P-12 Spoon Rest B	EW/Acq	A (VHF)	310-400	180-350	100-150	Zil-157
P-12M Spoon Rest C	EW/Acq	A (VHF)	310-400	180-350	100-150	Ural-375
P-15 Flat Face	EW/Acq	C (UHF)	200-800	900	125	Zil-157
P-15M Squat Eye	EW/Acq	C (UHF)	200-800	900	125	Zil-157
PRV-9 Thin Skin	HTF	H	-	-	130	KraZ-214
TRS-2100 Tiger S*	EW/Acq	E/F	low (MTI)	-	60 (2 m ² tgt)	trailer
Principal Iraqi Fire Control Radar Systems						
Radar Type	Weapon	Band	PRF	Peak Pwr	Range	Platform
		[-]	[pps]	[kW]	[nm]	
Area Defence:						
Fan Song B/SA-2B	V-75SM	F Az/Rng	-	600	40-80	trailer
		E Elev	-	-	-	
		C Uplink	44	-	-	
Fan Song E/SA-2D/E	V-75	G Az/Rng	828-2880	1500	40-80	trailer
		G Elev	-	-	-	

2. ábra EOB az iraki haderőről [11]

II. SIGINT REPÜLŐGÉPEK A KÜLÖNBÖZŐ KONFLIKTUSOKBAN

A repülőgépekre telepített SIGINT (illetve annak részét képező ELINT vagy COMINT) alkalmazása számos háborúban jelen volt.

Az amerikai haditengerészet 1945-ben kezdte el a PB4Y Privateer típusú repülőgép alkalmazását a japán légvédelem és a hajók helyzetének felderítése érdekében. [12]

Az amerikai „6091st Reconnaissance Squadron” 1964-ben telepített kettő C-130B-II SIGINT repülőgépet Thaiföldre. A feladat COMINT végrehajtása volt Észak-Vietnám partjainál a légvédelmük feltérképezése érdekében. [13]

¹² Nagy távolságú fényképezés, Long Range Oblique Photography, LOROP

¹³ Képfelderítés, Imagery intelligence, IMINT

Az USA a vietnámi háború időszakában az U2 és az RC-135M repülőgép bevetésével biztosította a SIGINT képességet a hadszíntéren. Az RC 135M, becenevén „Combat Apple” biztosította a vietnámi háború csúcspontján a használható SIGINT információk majd 75%-át. Kizárólag ELINT feladatokra alkalmazták az SR-71 típusú repülőgépet is. [14]

A hidegháború időszakában folyamatos volt a SIGINT repülések végrehajtása a Special Electronic Search Project (SESP) keretén belül a szovjet érdekeltségű célpontok megfigyelése érdekében. A feladathoz a PB4Y2 Privateer repülőgéptípust alkalmazták. Az átalakított és titkos felderítő berendezésekkel ellátott bombázó 10 fős legénységgel repült, amely magában foglalta a repülőszemélyzetet és az elektronikai szakembereket is. A koreai háború időszakában a szovjet célok elleni amerikai ELINT repülések mindennaposá váltak. Időközben alkalmazni kezdték a P4M repülőgéptípust, amelyet az EC-121 típusal helyettesítettek az 1960-as évek elején. Ezután nem sokkal később rendszerbe állították az EA-3B típust is. [15]

Az Öböl-háború során több ELINT képességgel rendelkező repülőgéptípus is bevetésre került. Így alkalmazták az amerikai légierőhöz tartozó EC/RC-135 Rivet Joint-ot, az amerikai haditengerészethez tartozó EP-3 és EKA-3B repülőgépeket, valamint a brit légierő Nimrod R.1. típusát. A repülőgépek bevetését úgy tervezték meg, hogy teljes mértékben biztosítsák a számukra kijelölt légtér felügyeletét. Az iraki erők elektronikai eszközeinek feltérképezése, a telepítési helyek valamint az alkalmazott típus meghatározása azok helytelen módon történő üzemeltetése miatt egyszerű feladat volt a szövetséges erők számára. [16]

Az IFOR¹⁴ missziót a Balkánon ELINT és SIGINT vonatkozásban számos ország légierőjének eszköze támogatta, így például az USA RC-135 és RC-12 Guardrails gépei, a brit Nimrod R2-es, a francia C-160 Transall, a német Atlantiques. Az amerikai RC-12 Guardrails Magyarországon állomásozott. [17]

Kína 2001. április 01-én földre kényszerített egy amerikai EP-3 Aries II típusú SIGINT repülőgépet, amely állításuk szerint engedély nélkül lépett be a légtérükbe. [18]



3. ábra EP-3 Aries II repülőgép [19]

¹⁴ Bosznia-Hercegovina területére telepített NATO vezetésű, többnemzetiségű béketámogató haderő megnevezése, Implementation Force, IFOR



III. NAPJAINK SIGINT REPÜLŐGÉPEI

A különböző országok többféle típust alkalmaznak SIGINT célra. A nagyhatalmak általában saját fejlesztésű eszközt rendszeresítenek, míg a kisebb országok egy adott repülőgéptípust szerelnek fel SIGINT eszközökkel.

Ebben a fejezetben néhány ismertebb típust szeretnék bemutatni. Jelen esetben kimondottan SIGINT vagy elektronikai hadviselési feladatokra készített típusokat említek meg, nem érintem a köztudatban AWACS¹⁵ elnevezéssel illetett repülőgépeket, melynek egyik jeles képviselője a németországi Geilenkirchenben szolgálatot teljesítő E-3A repülőgép. Az itt települő komponens egyik eleme a NATO Repülőgépfedélzeti Korai Előrejelző és Ellenőrző Erőinek¹⁶. Feladata, hogy repülőgépet és kiképzett személyzetet biztosítson légtér ellenőrzési és/vagy irányítási feladatok érdekében a NATO részére. [20]

Boeing 707: Számos ország alkalmazza a Boeing 707 valamely verzióját SIGINT célokra. Ezen – elsődlegesen polgári célú – repülőgépek alkalmazását általában más funkcióban (pl. személy- vagy teher szállító, stb.) kezdték el, majd később szerelték fel SIGINT/ELINT eszközökkel.

BR1150 Atlantique: Dassault-Breguet Atlantic típusú gépből többek között Németország is rendszerbeállított öt darabot, melyek bevetésre kerültek a Balkánon is. A típust 2010-ben kivonták a rendszerből, kiváltását az EUROHAWK-val tervezték, azonban a program csúszása majd leállítása miatt más lehetséges típusok vizsgálata jelenleg is tart. [21] [22]

C-160G Gabrielle: A francia hadseregben rendszeresített közepes szállítórepülőgépek közül 2 db került átalakításra és kapta meg a G betűjelet. A modernizálás magában foglalta a szárnyvégi konténereket, a behúzható dómot és a különböző antennákat. [23]

DA-20 Falcon: Hasonlóan a Boeing 707 típus esetében, itt sem egy kimondottan katonai célú repülőeszközzel beszélünk. Azért tartottam fontosnak mégis kiemelni, mivel az évente Magyarországon megszervezésre kerülő NATO NEWFIP¹⁷ elektronikai hadviselési gyakorlaton a Cobham Aviation DA-20 Falcon gépeire szerelik fel a zavaró konténereket. [24]

EA-6B Prowler: A típus elsődleges feladata a szembenálló fél légvédelmének lefogása¹⁸ elektronikai értelemben. Saját szárazföldi csapatainak és légierijének védelme érdekében lehetlenné teszi az ellenség elektronikai tevékenységét illetve elektronikai felderítést végez. Az EA-6B Prowler egy minden időben alkalmazható repülőgép fejlett elektronikai ellentevékenységi képességgel. Képes az AGM-88 (High-Speed Anti-Radiation Missile/HARM)¹⁹ típusú rakéta hordozására is. A típus 2003-ban továbbfejlesztésre került, így még pontosabb helymeghatározást biztosít a kisugárzó eszközök vonatkozásában és képes reaktív zavarásra is. A típus leváltása az USA egyes haderőnemeinél az EA-18 Growler típusú eszközzel már megkezdődött, a jelenlegi tervek szerint azonban még 2019-ig rendszerben lesz. [25]

¹⁵ Repülőfedélzeti Ellenőrző és Riasztó Rendszer, Airborne Warning and Control System, AWACS

¹⁶ NATO Repülőgépfedélzeti Korai Előrejelző és Ellenőrző Erői, NATO Airborne Early Warning & Control Forces, NATO AEW & CF

¹⁷ Elektronikai hadviselési erőintegrációs program, NATO Electronic Warfare Integration Period, NEWFIP

¹⁸ Ellenséges légvédelem elnyomása, Suppression of Enemy Air Defenses, SEAD

¹⁹ Nagysebességű radarromboló rakéta, High-speed Anti-Radiation Missile, HARM



4. ábra EA-6B Prowler [26]

EA-18 Growler: A típus az F/A-18F Super Hornet Block II egyik változata. Képességei között szerepel a szembenálló fél légvédelmének elnyomása, stand-off vagy escort jamming alkalmazása. Fontos, hogy a fejlett elektronikai és fegyverzeti rendszerek (pl. AESA²⁰ radar, levegő-levegő rakéta, stb.) révén képes megvédeni önmagát, azonban a célpont azonosítását is nagy pontossággal hajtja végre. Az amerikai szárazföldi haderő és a haditengerészet ezzel a típussal váltja ki az EA-6B Prowler típust. [27][28]



5. ábra EA-18G Growler az első bevetésén. [29]

EC-130: A C-130 repülőgép több típusát alkalmazták SIGINT, elektronikai hadviselési vagy pszichológiai hadviselési feladatokra. Az USA-ban a 'Compass Call' projekt során 16 db C-130 repülőgépet tettek képessé az ellenség kommunikációjának elfogására, lokalizálására valamint zavarására. [30]

²⁰ Aktív fázisvezérelt antennarács rendszerű radar, Advanced Electronically Scanned Array (AESA) radar

EP-3E Aries²¹ II: Az EP-3E ARIES II repülőgép egy elektronikai hadviselési és felderítő repülőgép, amelybe a legmodernebb elektronikai megfigyelő felszereléseket építették be, a korábbi SIGINT képességet multi-felderítővé alakítva. A repülőgép képes közel valós idejű SIGINT tevékenységre és videó-felderítésre. A nagy érzékenységű vevőkkel a célterület nagy mélységében képes az elektronikai kisugárzások vételére. A személyzet az összegyűjtött adatokat a meglévő adatokkal összeveti és ezek alapján elősegíti a veszélyjelzést, az információs fölény kialakítását, az aktuális helyzetkép vagy elektronikai harcrend kialakítását, az ellenséges légvédelem elnyomását vagy rombolását. [31]

F-16CJ „Wild Weasel”: A „Wild Weasel” elnevezést a vietnámi háborúban kezdték el alkalmazni, azonban ekkor még a F-100 Super Sabre 2 üléses verziójára. A feladat az ekkor kezdődött föld - levegő rakéták²² elterjedése miatt a vietnámi légvédelem lefogása volt. Később erre a célra alkalmazták az F-105 és F-4 repülőgépeket is. A napjainkban a fenti becenév alatt értett feladatot a F-16CJ típusú repülőgépek látják el, amelyek képesek az AGM-88 HARM rakéta hordozására. Az AGM-88 HARM rakéta leghatékonyabb alkalmazására a fenti három típus (EA-18 Growler, EA-6B Prowler, F-16 „Wild Weasel”) közül az F-16 képes egy, a rendszerbe beépített alkalmazás (Joint Emitter Targeting/JETS) révén. [32] [33]

Il-38 "May": Il-38 May: az Il-18-ból továbbfejlesztett repülőgép. Jelenleg a legfejlettebb változat az Il-38N Novella, amely már teljesen digitális rendszerű, kisebb méretű és tömegű. A fejlesztés során többek között nagy felbontású radar és elektronikai felderítő rendszer is beépítésre került, mellyel képes nagy távolságról észlelni kisugárzó eszközöket és egyszerre akár 32 eszközt is egy időben megfigyelni. [34]



6. ábra Russian Navy IL-38 Maritime Patrol Aircraft [35]

Nimrod R1: Nagy-Britannia az 1970-es években állította rendszerbe a Nimrod1 típusú COMINT/ELINT képes repülőgépet, azonban egy 2010-ben megszületett döntés alapján 3 db, korábban az USAF-nál alkalmazott, de már egy ideje nem használt KC-135R-t vásárolt meg, amik RC-135V/W változatra kerülnek/kerültek átalakításra. Az első példány 2013. november 12-én érkezett meg a lecserélt típusnak is otthont adó waddington-i bázisra. [36][37][38]

²¹ Airborne Reconnaissance Integrated Electronics Suite, ARIES

²² Föld-levegő rakéta, Surface to Air missile, SAM



7. ábra A Nimrod1 típust leváltó RC-135V/W [39]

RC-12 Guardrail Common Sensor: A repülő egy hadosztály szintű SIGINT rendszer. Több altípusa került kialakításra (RC-12K/N/P/Q), amelyekben a beépített rendszerek magukban foglalják a COMINTELINT elemeket, a gyors iránymérésre képes valamint a kisugárzó eszközöket precíziós eljárásokkal megtaláló rendszereket. Ezt a repülőgéptípust tartják az egyik legpontosabb és legfejlettebb SIGINT platformnak. A repülőgépbe beszerelésre került speciális elektronikai rendszerek alkalmazásával egy időben gyűjti a kisugárzások idő és helyadatait, majd küldi tovább a kijelölt földi állomásnak. Az elemzett adat ezután vagy visszaküldésre kerül a repülőgépre vagy más vezetési elemhez kerül továbbításra például parancsnoki döntéshozatal támogatása érdekében. [40][41]



8. ábra RC-12 Guardrail Common Sensor [42]

RC-135 Rivet Joint: A jelentősen módosított típus a C-135 alapjaira épül. A módosítás elsősorban a fedélzeti elektronikára vonatkozik, amely lehetővé teszi a különböző jelek detektálását és azonosítását az elektromágneses spektrumban. A személyzet az információt számos módon továbbíthatja. A 32 főből álló legénység részét képezik a pilóták, fedélzeti technikusok mellett az elektronikai hadviselési és felderítő szakemberek is. [43]

Tornado ECR/GR4: Németország rendelkezik úgynevezett ECR-Tornado típusal is, amely bevetésre került például Afganisztánban. A repülőgép rendelkezik ELS²³ rendszerrel és képes SEAD²⁴ feladatok végrehajtására is. Afganisztáni tapasztalatom, hogy a Mazar-e Sharif-be telepített Tornado repülőgépeket a csapatok felvonulási útján számos alkalommal alkalmazták az R-CIED eszközök ellen úgynevezett „burning”²⁵ eljárásra, amellyel azok rádiótávírányítási rendszerét próbálták hatástalanítani. [44][45]



9. ábra Tornado ECR/GR4 [46]

ÖSSZEGZÉS

A cikkben bemutatásra kerültek olyan események melyek során SIGINT, COMINT vagy ELINT képességgel bíró repülőgépeket is alkalmaztak a szemben álló fél képességeinek felmérése érdekében illetve néhány, jelenleg is alkalmazott típus. A példákól látható, hogy ezen képességnek most is nagy fontosságot tulajdonítanak és ez várhatóan a jövőben is így marad. Az is lényeges azonban, hogy az ELINT-ről már nemcsak szárazföldi vagy légi eszközökkel kapcsolatban beszélhetünk, hanem jelen van például már az űrben is. A kínai Shijian-6 2010. októberi indításakor bejelentették, hogy a műhold feladatai között szerepel többek között az ELINT technológia tesztje is, azonban a megfigyelők azt gyanították a műhold pályája alapján, hogy a feladat nemcsak a tesztelés, hanem a valós végrehajtás volt. [47]

Mindezek alapján kijelenthető, hogy a SIGINT a továbbiakban is fontos alkotóeleme lesz a felderítési módoknak. Emiatt az ilyen képességgel bíró repülőgépek és egyéb platformok fejlődésének vizsgálata és figyelemmel kísérése fontos még akkor is, ha a Magyar Honvédség nem rendelkezik ilyen technikával.

²³ Kisugárzó helymeghatározó rendszer, Emitter Locator System, ELS

²⁴ Az ellenséges légvédelem lefogása. Suppression of Enemy Air Defence, SEAD

²⁵ Burning: égetés

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Haig Zsolt alezredes – Dr. Várhegyi István nyá. ezredes: A vezetési hadviselés alapjai. Budapest: 2000., ZMNE, Egyetemi jegyzet.
- [2] Balogh Péter: A Magyar Honvédség ISTAR (ISR) képességei, a fejlesztés lehetséges irányai, különös tekintettel az elektronikai hadviselésre. Hadmérnök, VII. Évfolyam 4. szám - 2012. december, 75-94. oldal, ISSN 1788-1919
- [3] Dr. Haig Zsolt mk. alezredes: Az információs műveletek, a SIGINT és az elektronikai hadviselés kapcsolat-rendszere. KFH felderítő szemle, VI. évfolyam, különszám, 2007. február, 27-47. oldal, ISSN 1588-242X
- [4] Dr. Várhegyi István ezredes: A komplex rádióelektronikai felderítés kialakulása, helye és szerepe a nemzeti és szövetségi információ- és adatszerzés rendszerében Felderítő szemle VI. évfolyam, Emlékszám 2007. július. pp. 25-36. ISSN 1588-242X
- [5] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. (online) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf (2014.01.06.)
- [6] The Gripen mission. (online) url: http://www.saabgroup.com/Global/Documents%20and%20Images/Air/Gripen/Gripen%20product%20sheet/The_Gripen_Mission.pdf (2014.01.10.)
- [7] Prof. Dr. Haig Zsolt mk. ezredes – Prof. Dr. Kovács László mk. alezredes – Dr. Habil. Ványa László okl. mk. alezredes: Az elektronikai hadviselés, a SIGINT és a cyberhadviselés kapcsolata. Felderítő szemle. X. évfolyam 1-2. szám, 2011. március–június. pp. 183-209. ISSN 1588-242X
- [8] Barry Horne: Visualising the Electronic Order of Battle. (online) url: <http://ftp.rta.nato.int/public/FullText/RTO/MP/RTO-MP-050/MP-050-01.pdf> (2014.01.13.)
- [9] Tamir Eshel: Were the Turkish Phantoms ‘Teasing’ Syrian Air Defenses for NATO’s ELINT collection? (online) url: http://defense-update.com/20120624_were-the-turkish-phantoms-teasing-syrian-air-defenses-for-natos-elint-collection.html (2014.02.01.)
- [10] Carlo Kopp: Operation Desert Storm, The Electronic Battle. (online) url: <http://www.ausairpower.net/Analysis-ODS-EW.html> (2014.02.01.)
- [11] Carlo Kopp: Operation Desert Storm, The Electronic Battle. (online) url: <http://www.ausairpower.net/Analysis-ODS-EW.html> (2014.02.01.)
- [12] John R. Schindler: A dangerous business: The U.S. Navy and national reconnaissance during the Cold War. (online) url: http://www.nsa.gov/about/_files/cryptologic_heritage/publications/coldwar/dangerous_business.pdf (2014.01.31.)
- [13] Szerző nélkül: History of the 6988th Security Squadron. (online) url: <http://www.6988th.org/history.htm> (2014.01.31.)
- [14] Lt. Col. John Kovacs, USAF (Ret.) - MGen. Patrick Halloran, USAF (Ret.) - Col. Richard Graham, USAF (Ret.) - Col. Chuck Stratton, USAF (Ret.) - Col. John Dale, USAF (Ret.) - Lt. Col. Bruce Bailey, USAF (Ret.) SAC Reconnaissance in the Vietnam Conflict. (online) url: <http://www.55wa.org/Heritage/SAC%20Recon%20in%20Vietnam%20final.pdf> (2014.01.31.)
- [15] John R. Schindler: A dangerous business: The U.S. Navy and national reconnaissance during the Cold War. (online) url: http://www.nsa.gov/about/_files/cryptologic_heritage/publications/coldwar/dangerous_business.pdf (2014.01.31.)
- [16] Carlo Kopp: Operation Desert Storm, The Electronic Battle. (online) url: <http://www.ausairpower.net/Analysis-ODS-EW.html> (2014.02.01.)
- [17] Wentz, Larry, Lessons From Bosnia: The IFOR Experience, IV. Intelligence Operations. (online) url: <http://www.fas.org/irp/ops/smo/docs/ifor/bosch04.htm> (2014.02.01.)
- [18] U.S. aircraft collides with Chinese fighter, forced to land. (online) url: <http://edition.cnn.com/2001/US/04/01/us.china.plane.03/index.html?iref=allsearch> (2014.02.01.)
- [19] EP-3 Aries II. (online) url: <http://tech.military.com/equipment/view/89726/ep-3-aries-ii.html> (2014.02.01.)
- [20] The E-3A Component. (online) url: http://www.e3a.nato.int/eng/html/organizations/e3a_component.htm (2014.02.02.)
- [21] Albrecht Müller: Germany Evaluates New SIGINT Airframes. (online) url: <http://www.defensenews.com/article/20140122/DEFREG01/301220020/Germany-Evaluates-New-SIGINT-Airframes> (2014.02.02.)
- [22] Dassault-Breguet Atlantic. (online) url: <http://www.spyflight.co.uk/atln.htm>
<http://www.spyflight.co.uk/atln.htm> (2014.02.02.)



- [23] Transall C.160G Gabriel. (online) url: <http://www.harpoondatabases.com/Platform.aspx?DB=5&Type=Plane&ID=301> (2014.02.02.)
- [24] Horváth József: Az elektronikai hadviselés a Magyar Honvédségben. Hadmérnök (megjelentetés alatt, várhatóan 2014/1. szám), ISSN 1788-1919.
- [25] EA-6B Prowler. (online) url: <http://www.navair.navy.mil/index.cfm?fuseaction=home.display&key=C8B54023-C006-4699-BD20-9A45FBA02B9A> (2014.02.02.)
- [26] EA-6B Prowler. (online) url: <http://www.airforce-technology.com/projects/prowler/> (2014.02.02.)
- [27] EA-18 Growler. (online) url: [http://www.navair.navy.mil/index.cfm?fuseaction=home.display&key=33BFA969-0482-42CF-9E1F-F80A1B32BEE9&highlight=EA-18 Growler](http://www.navair.navy.mil/index.cfm?fuseaction=home.display&key=33BFA969-0482-42CF-9E1F-F80A1B32BEE9&highlight=EA-18%20Growler) (2014.02.02.)
- [28] Nem lesz elektronikai hadviselési F-35-verzió. (online) url: <http://htka.hu/2012/08/27/nem-lesz-elektronikai-hadviselési-f-35-verzio/> (2014.02.02.)
- [29] John Reed: Navy EA-18G Growler Electronic Attack Jets on First Deployment. (online) url: <http://defensetech.org/2011/02/18/navy-ea-18g-growler-electronic-attack-jets-on-first-deployment/#ixzz2sBCoiYEy> (2014.02.02.)
- EC-130E Senior Scout. (online) url: <http://usacac.army.mil/cac2/call/thesaurus/toc.asp?id=34293> (2014.02.02.)
- [30] EP-3E ARIES II. (online) url: https://www.fas.org/irp/program/collect/ep-3_aries.htm (2014.01.09.)
- [31] Mike Nastasi: The Wild Weasels "Daredevils of the skies". (online) url: <http://www.militaryhistoryonline.com/vietnam/airpower/wildweasel.aspx> (2014.01.09.)
- [32] F-16 Fighting Falcon. (online) url: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/f-16.htm> (2014.01.09.)
- [33] Il-38 May. (online) url: <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/il-38.htm> (2014.01.15.)
- [34] Ilyushin Il-38 May. (online) url: http://www.military-today.com/aircraft/ilyushin_il38_may.htm (2014.01.15.)
- [35] Friss képen a Brit Királyi Légierő új SIGINT repülőgépe. (online) url: <http://htka.hu/2012/12/27/eloszor-lathato-a-brit-kiralyi-legiero-uj-sigint-repulogepe/> (2014.01.25.)
- [36] Joint Riveting: Britain's RC-135 Airseeker Electronic Snooping Planes. (online) url: <http://www.defenseindustrydaily.com/death-spiral-for-helix-britain-wants-rc-135-rivet-joint-planes-05102/#> (2014.01.25.)
- [37] The new face of airborne SIGINT: global, civil and in real time. International Defence Review. (online) url: <http://www2.warwick.ac.uk/fac/soc/pais/people/aldrich/vigilant/lectures/gchq/rivet/aircraft.pdf> (2014.01.25.)
- [38] Friss képen a Brit Királyi Légierő új SIGINT repülőgépe (online) url: <http://htka.hu/2012/12/27/eloszor-lathato-a-brit-kiralyi-legiero-uj-sigint-repulogepe/> (2014.01.25.)
- [39] Eddy Hill: Guardrail improvements enhance intelligence support and deployability (online) url: http://www.army.mil/article/23685/Guardrail_improvements_enhance_intelligence_support_and_deployability/ (2014.02.01.)
- [40] Guardrail Common Sensor / RC12 (online) url: <http://www.fas.org/programs/ssp/man/uswpns/air/special/rc12.html> (2014.02.01.)
- [41] Lieutenant Colonel Thomas D. Smart (USA, Retired): Aerial Common Sensor, The Eyes and Ears of the 21st Century Warfighter. (online) url: <http://www.fas.org/irp/agency/army/tradoc/usaic/mipb/1998-4/smart.htm> (2014.02.01.)
- [42] RC-135V/W RIVET JOINT. (online) url: <http://usmilitary.about.com/library/milinfo/affacts/blrc-135.htm> (2014.02.01.)
- [43] Susanne Koelbl and Alexander Szandar: Germany's Tornado: Berlin Mulls Deploying Spy Jets to Southern Afghanistan. (online) url: <http://www.spiegel.de/international/spiegel/germany-s-tornado-berlin-mulls-deploying-spy-jets-to-southern-afghanistan-a-456013.html> (2014.02.01.)
- [44] Einsatzspektrum des ECR-Tornados (online) url: http://www.luftwaffe.de/portal/a/luftwaffe!/ut/p/c4/NYq7DoMwDEX_yE4GKtENRId27MJc0NErQYHRaYsfHyTofdIZzkXJ8wIfXkh5SgUcMDR8fV1QDiAPrqDkHtjX36zBxfFa7F6Uc5eEmlMsMWkoZQ9pVyAZxyN7VpzMf_Zs66mx22obdXd2ydu69r8AMKO7r0/ (2014.02.01.)
- [45] Deutsche Luftwaffe (online) url: [http://www.luftwaffe.de/Tornado ECR__deutsch.pdf](http://www.luftwaffe.de/Tornado%20ECR_deutsch.pdf) (2014.02.01.)
- [46] Ian Easton & Mark A. Stokes: China's Electronic Intelligence (ELINT) Satellite Developments, Implications for U.S. Air and Naval Operations, The Project 2049 Institute Arlington, Virginia, February 23, 2011.

Makkay Imre¹

ELEKTROAKUSZTIKAI ELJÁRÁSOK LÉGIJÁRMŰVEK FELDERÍTÉSÉRE²

A légi járművek helyzetének, mozgásának meghatározása az általuk kibocsátott hanghullámok is lehetőséget adnak. Ez a korai légvédelemben használt eljárás – korszerű eszközökkel – különösen értékes lehet a csekély radar visszaverő felülettel rendelkező objektumok felderítése esetén. Néhány példán keresztül olyan – ma még nem széles körben alkalmazott – elektroakusztikai eljárásokat mutatunk be, amelyek a légvédelem mellett a polgári repülés szervezői számára is hasznos információkkal szolgálnak.

ELECTRO-ACOUSTIC PROCEDURES FOR AIRCRAFT DETECTION

Determination of the position and movement of the aircraft, the sound waves emitted by them allow. It is used for air defense early in the process - modern instruments - may be particularly valuable in the case of objects in low radar reflectivity. Through a few examples - are still not widely used - electroacoustic procedures are presented, in addition to the air defense provide useful information for the organizers of civil aviation.

BEVEZETÉS

A különböző céllal (személyek, terhek szállítása) a levegőben lévő járművek helyzetét, mozgását a jármű vezetőjének jelentése, lesugárzott helyzetinformációi alapján, vagy külső (földi, légi) érzékelők segítségével tudjuk követni. A (jó szándékú) repülőgépek a szükséges információkat, jelzéseket maguk küldik a légi irányítás számára – szolgálva ezzel a saját és más repülőgépek biztonságát.

Az idegen, nem kommunikáló légi járműveket „légi célokat” az árulkodó jeleik – hang, hő, radar, lidar, látható kép – alapján lehet felderíteni és követni. A „footprint” a légi célok számára életveszélyt jelent, ezért mindent megtesznek annak csökkentésére.

A repülések kezdetekor a motorzaj alapján határozták meg a repülőgépek irányát hallótölcéses „fülelő állomásokkal”. Az őket hamarosan kiszorító RADAR (Radio Direction and Ranging) a nevében is jelzett irány és távolságmérés segítségével már térbeli helyzetet is tudott közölni és hatótávolsága, pontossága egyre javult. A radar rádióhullámokat bocsát ki, majd veszi a repülőgép fémből, vezető anyagból készült alkatrészei által reflektált jeleket. A repülőgép felépítése, alakja nagymértékben befolyásolja a visszavert jel nagyságát. A radar számára ideális a sík fémlapokból összeállított sarokreflektor, vagy a Luneberg-lencse – ezek verik a legtöbb jelet vissza. A katonai repülőgépek konstruktőrei ennek ellenkezőjére, a kis „hatásos radarkeresztmetszet” elérésére, a „lopakodásra” törekednek: különleges elnyelő anyagokkal borítják a fémfelületeket, kerülnek a derékszöget, ahol csak lehet, műanyagot alkalmaznak, a hajtómű hőjét gondosan árnyékolják. A továbbiakban a légi járművek nem-radaralapú felderítésének egyik lehetőségét, az elektroakusztikai eszközöket és eljárásokat tekintjük át részletesebben.

¹ nyugállományú okleveles mérnök ezredes, egyetemi tanár, drmi48@gmail.com

² Lektorálta: Dr. Szilvássy László alezredes, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, szilvassy.laszlo@uni-nke.hu

A HANGFORRÁS FELISMERÉSE

A légi járművek által keltett zaj a környezetvédők egyik célpontja – nem véletlenül. A levegőből szinte akadálytalanul felénk tartó hanghullámok forrását keresve önkéntelenül is felnézünk az égre – és jó eséllyel meg is találjuk annak okozóját. Ez igaz nem csak a „csíkot húzó” nagyságokra, hanem a jóval kisebb és alacsonyabban repülő „General Aviation” tagjaira. A szorgalmasan hallgatózó/bosszankodók felismerik a gázturbinás, turbó-propelleres, dugattyús hajtóműveket – a hivatásukat innen választóknak még a típus-, állapot-, (lajstromjel) sem marad titokban.

A hang felismerése az emberi agy képességén alapul – így ismerjük fel akár a telefon torz hangjából is azt, akinek a „hangképe” már emlékeinkben szerepel. A technikai eszközökkel végzett hangfelismeréshez a spektrális összetevőkre bontás és azzal való matematikai műveletek szükségesek. [1] A radartechnikában is teret nyert spektrum spektrumának – azaz a cepstrumnak [2][3] – a kiszámítását ma már jelprocesszorok végzik, olyan biztonsággal, hogy akkor is felismerik a személyt/járművet, ha annak hangját mesterségesen próbálják eltorzítani. A repülésirányításban sikerrel alkalmazzák az azonos csatornán folytatott, több résztvevős kommunikáció tagjainak azonosítására. [4] Az „akusztikus ujjlenyomat” alapján akár az azonos típusú légijárművek között is lehet különbséget találni – ha erre van szükség.

A kültéri akusztikus felderítést általában nem tudjuk környezeti zajtól mentes közegben végrehajtani. Az egyik lehetséges technikai megoldás az átlagzaj „szembefordítása”, azaz kivonása a hasznosítandó jelből, a másik, az erőteljes térbeli szelekció alkalmazása. A gyakorlatban ezek kombinációját használják – az adott feladathoz illeszkedve. A háttérzajban végzett hangfelismerés elmélete és megvalósítása található meg John H.L. Hansen DSPL-92-5 munkájában. [5]

A légijárművek hangja a következő összetevőkből épül fel:

- a sárkányszerkezet (szárny, törzs, kerekek, kiálló alkatrészek) és a levegő aerodinamikai súrlódása, légörvényei által keltett zaj – ami megfigyelhető a hajtómű nélkül sikló (vitorlázó) repülőgépeknél. A teljesítményszintje alacsony, viszont a frekvenciája jellegzetesen magas, „sziszegő” tartományú, ami a háttérzajtól való megkülönböztetést elősegítheti;
- a hajtómű saját zaja, ami a működése közben keletkező súrlódás, gyors égés, gázok be és kiáramlása következtében jön létre. Ennek nagyságrendje általában jóval meghaladja a sárkányszerkezet keletkező zajokat – kivéve az egyre elterjedőben lévő elektromotoros hajtást. [6] Ez utóbbi hangja gyakorlatilag észlelhetetlen – mint ahogy a jól kiegyensúlyozott villanymotor hangját néhány méterről alig halljuk;
- a légsavarak és a levegő közötti súrlódás a lapátokról leváló örvényekkel együtt szintén alacsony teljesítményszintű, közepes és magas hangtartományú zajt produkál. A hang magassága, intenzitása függ a légsavár fordulatszámától, a légsavár alakjától és a lapátok számától. A helikopterek rotorjának jellegzetesen „csattogó” hangja a motorzajt is felülmúlhatja;
- a zajok legnagyobb hányadaért a haladást biztosító légtömeg mérete és sebessége a felelős. A torlósugaras és gázturbinás hajtásnál kis átmérőn préselődik ki nagy légtömeg – ez jelentős zajjal jár. Az ideális, ha a repülőgép sebességét legfeljebb ötszörösen haladja meg a hajtásra szolgáló légtömeg sebessége – ez csak a nagyméretű légsavart használó merevszárnyú repülőgépeknél valósítható meg.



1. ábra A zajforrások egy fel/leszálló repülőgépnél ³

A légi járművek által keltett zaj csökkentésére világszerte nagy kutató potenciálokat mozgósítanak – az eredményeikben szerepelnek azok a „tovább már nem csökkenthető” értékek, melyek a felderítés számára biztos támpontokat adhatnak. [7][8][9][10]

Hangfelderítéssel a légi jármű repülése közben keletkezett zaj intenzitása, spektruma/cepstruma, és a forrás iránya/helyzete határozandó meg. Összehasonlítva már korábban vett, eltárolt hangképekkel, a légi jármű kategóriája, típusa, egyedi azonosítója is felismerhető. A dB (SPL – sound pressure level) – akusztikus hangnyomás alapértéke a 0 dB, mely az emberi hallásküszöböt jelenti (egy szúnyog hangja 3 m-ről). Az elektronikai erősítő technikákkal ennek töredékéből lehet hangot elérni – ráadásul „szelektíven”, ami a cél-hangforrás kiemelését és a zavaró környezet elnyomását jelenti.

Ma már számos olyan légi járművel találkozhatunk – a hobby/sport, vagy akár a felderítő/támadó légi cél kategóriában – amelyekről nem, vagy csak nagyon alacsony szintű radarjel verődik vissza. Ilyenek a siklóernyősök (PG – ParaGlider) amelyek nem igényelnek (nem használnak) kiépített repülőteret – pár lépés után már a levegőben vannak és a leszállásuk is hasonlóan történik. A „gyalogos” változatot magaslatról, vagy csőrlésből/vontatásból indítva használják a motorral ellátottak (PPG – Powered ParaGlider) pedig saját erőből szállnak fel. A PG csak műanyag, a PPG műanyag és fém motoralkatrészeket tartalmaz – tehát a radarok számára még a pilótával együtt is kis visszaverő felületet jelentenek. Az aerodinamikai eredetű zaj, amit a vászon, zsinórzat és a pilóta kelt, bár igen kis intenzitású, de nagyon jellegzetes – mint ahogy a közelünkben elrepülő rovarok, madarak szárnyai, keltette hangokat magunk is felismerjük.

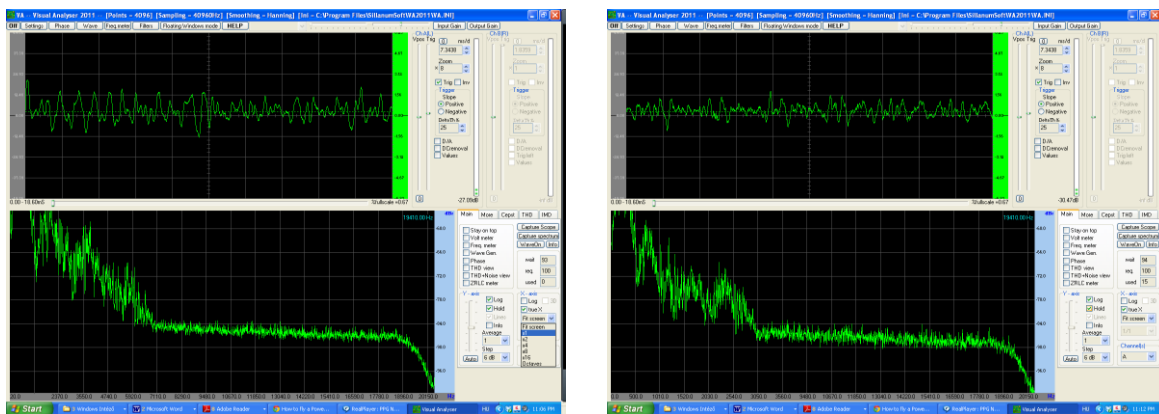
³ http://www.aviationexplorer.com/aircraft_noise.html



2. ábra Egy motoros siklóernyős szinte bárhol fel/le tud szállni és bármire (?) képes⁴

A motoros változatokat már messziről meghalljuk – csendes estéken, napnyugta előtt gyakran megjelennek. A főleg kétütemű „rezós” motorokkal repülő PPG-k megkülönböztetésére már gyakorlott fül és némi műszerezettség szükséges. A manapság elterjedő elektromos hajtású PPG hangja markánsan megkülönböztethető a belsőégésű motoros társaktól.

A „hanglenyomat” illusztrálására vizuálisan is összehasonlítottunk két PPG motor hangját [11] [12] – az eredeti környezeti zajjal együtt. Jól látható a belsőégésű motoros változat alapvetően kipufogója által keltett zaj – és ennek hiánya az elektromotoros hajtásnál. Mindkettőnél megtalálható viszont a légsavarzaj – az elektromosnál csak ez hallható (a videó végén egészen közelről).



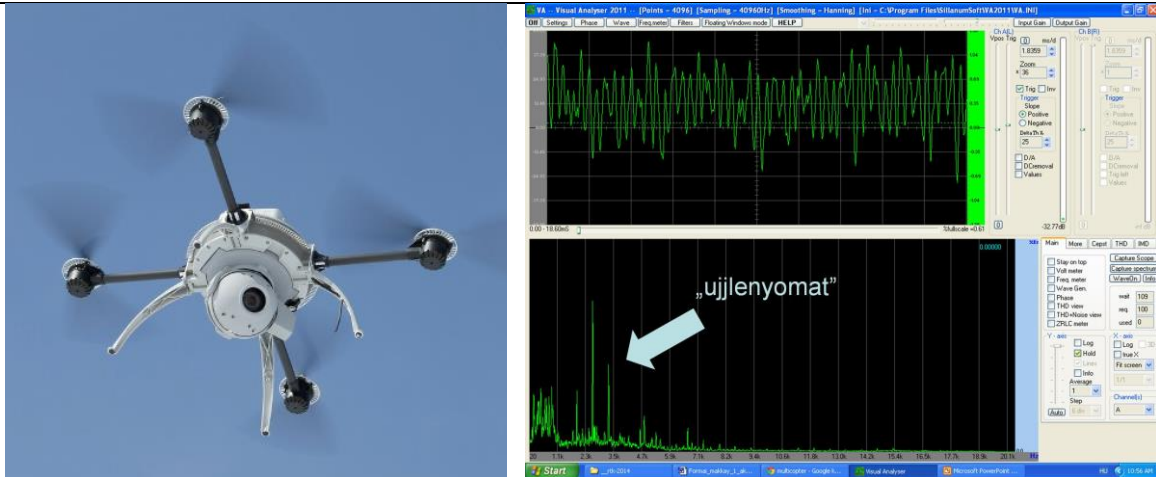
3. ábra Egy kétütemű Solo 210 és egy 10 kW-os elektromos hajtású PPG hangjának amplitúdó és spektrum képe

5

A pilóta nélküli légi járművek, UAV-k (Unmanned Air Vehicles) egy csoportja – a forgószárnyas hajtóművel rendelkezők – szintén jellegzetes hangforrást képviselnek, amelyek alapján felderíthetők/követhetők. A zaj a légsavarok forgásakor keletkező turbulens légáramlásból származik, amiből a megfelelő szűrőkkel a forrás „ujjlenyomata” is meghatározható.

⁴ <http://finddellschanze.com/powerd-paraglider-shooting/>

⁵ a szerző mérései – Visual Analyser 2011 programmal <http://www.sillanumsoft.org/>



4. ábra „Kíváncsiskodó” négyrotoros⁶ – és egy másik (Micro Q4) hangképe⁷

A „multikopterek” egyre népszerűbbek és az alkalmazási köreik is szélesednek – az egyszerű modellezői elvárásoktól a munkavégzésig – ami azt jelzi, hogy „felnőttek” lettek és ideje komolyan venni a védelmi rendszabályokat is. Az illegális információszerzéstől a hasonló kategóriájú küldemények célba juttatásáig számos negatív lehetőséget is kínálnak ezek az – önmagukban egyébként ragyogó – műszaki megoldások.

Amit tehát a kísérleteink eredményei is igazolni látszanak: a légi járművek hangmintái alkalmazsak lehetnek a felderítésre és azonosításra – az egyébként kis felderítési valószínűséggel rendelkező eszközök esetében is. Ez a határőrizet, objektum és területvédelem számára fejlesztendő eszközökben és rendszerekben „professzionális” képességek formájában jelenhet meg.

IRÁNYMÉRÉS

Amennyiben a hangforrás azonosítása sikeres, az észlelés helyéhez viszonyított iránya és további mozgása lehet a felderítés célja. A hangfelderítő állomásokat – általában háromszög elrendezésben – alkalmazva, a kijelölt légtér határait megközelítő/átlépő légi járműveket lehet felderíteni. [12]



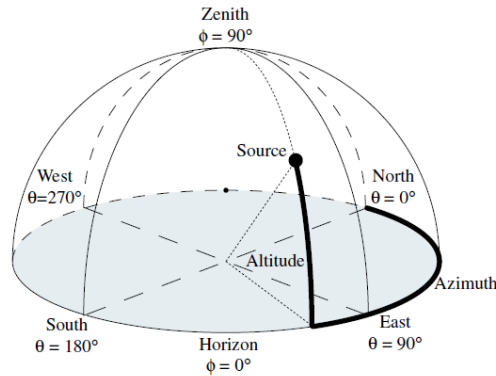
5. ábra. A mikrofonok egy 3D irány meghatározásra alkalmas állomáson⁸

⁶ <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/military-robots/aeryon-scout-quadrotor-spies-on-bad-guys-from-above>

⁷ a szerző mérései – Visual Analyser 2011 programmal <http://www.sillanumsoft.org/>

⁸ <http://www.roosnek.nl/figs/antenna.jpg>

Az iránymérési eljárások kiterjedhetnek a gömbkoordináták meghatározására, amivel a sugárforrás elevációs (hely-) szögét és magasságát is lehet mérni – ennek elméleti alapjait Brent C. Kirkwood „Acoustic Source Localization Using Time-Delay Estimation” című munkájában részletesen kifejti. [14]



6. ábra A 3D érzékelő-elrendezéssel az oldalszög és a helyszög is meghatározható ⁹

A repülőterek és környékeik védelmére telepített mérő/ellenőrző akusztikai állomások az engedélyekben szereplő hangnyomás regisztrálásán túl a siklópálya adatait, az emelkedés, süllyedés mértékét és profilját is képesek érzékelni. [15] Az akusztikai alapú felderítés hasonló berendezéseket használ – kiegészítve az ismeretlen (azimut és helyszög szerinti) térbeli helyzetet meghatározásával. [16]

A szélsőséges meteorológiai viszonyok – szél, csapadék, dörgés, villámlás – kedvezőtlenül befolyásolják a felderítés eredményességét. A szél – irányától függően – erősítheti, vagy gyengítheti a hangokat, a csapadékos időben megnövekedő háttérzaj, pedig nehezebbé teszi a hasznos jelek kiválogatását.

A védelmi szféra jelenleg is használ akusztikai alapú felderítő és helymeghatározó eszközöket. A harctéri hangfelderítő komplexumok a harcjárművek, kézi, és nehézfegyverek hangjára vannak „élesítve” **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** [17] [18] Az alkalmazásuk mellett szól, hogy kiforrott irány-meghatározó algoritmussal és megjelenítőkkal rendelkeznek, valamint a mostoha időjárási körülményeknek is ellenállnak.



⁹ Figure 3.4 alapján http://brentkirkwood.com/science/documents/BCK_MS_Thesis_Final_20030811.pdf

7. ábra A RAYTHEON „Boomerang” felderítő eszköz mikrofonjai és kijelzője ^{10 11}

Az egyik legerősebb haditechnikai cég a Rheinmetall is jelen van az ASLS – Acoustic Shooter Locating System [20] azaz a lövés helyének hang alapú meghatározására szolgáló berendezésével.



8. ábra A Rheinmetall ASLS berendezésének mikrofonjai és kijelzője ¹²

Hasonló célú az USA-ban elterjedt „ShotSpotter [19] technika, amelyet a nagyvárosok és kiemelten fontos objektumok védelmére használnak. A lövők irányát/helyzetét meghatározó berendezések fejlett jelfelismerő algoritmusokkal dolgoznak, melyek – feltehetően – a légi járművekre is ráhangolhatók.

Pakisztánban a hegyek között nehéz szünetmentes radar fedettséget biztosítani. Az elektromechanikai alapú légvédelmi felderítő rendszer kifejlesztését az ország felszínének – radar szempontból – kedvezőtlen átszeldelt viszonyai tették szükségessé. [21]



9. ábra Mérési összeállítás Pakisztánban a repülőgépek hang alapú detektálására ¹³

A „Tracking, and Identifying Airborne Threats with Netted Sensor Fence” – munkában [22] a

¹⁰ http://www.raytheon.com/newsroom/feature/rtn13_bbn/

¹¹ <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15208>

¹² http://www.armyrecognition.com/july_2011_news_defense_army_military_industry_uk/german_acoustic_shooter_locating_system_asls_from_rheinmetall_now_ready_for_market_2607111.html

¹³ <http://imranhkhani.com/wp-content/uploads/2011/05/acoustic3.jpg>

„hanglenyomat” meghatározása fontos szerepet kap – a radar, infra és látható fény tartományok mellett – a légi járművek felderítő rendszerében. Amíg a radar a távolfelderítést végzi, az infra a – a hatótávolságán belül lévő célok követésére és alakja, mozgása alapján a felismerésére és követésére szolgál. A hangfelderítő rendszer az irány meghatározását és az azonosítást végzi. Mindhárom felderítő elem – bár elhelyezésüket illetően nem feltétlenül kell egy ponton települniük – közös adathálózatban dolgozva megerősítik, kiegészítik egymás információit.



10. ábra Akusztikai szenzorok és helyük a komplex felderítő rendszerben ¹⁴

KÖVETKEZTETÉSEK

A hangfelderítés a radar visszaverő felülettel nem, vagy nagyon kismértékben rendelkező légi célok felderítésének egyik alternatíváját jelentheti.

Önállóan és a többi felderítési móddal együtt is tud működni – az adatok központi feldolgozásához térkoordináta és egyedi jellemzők (intenzitás, típus, azonosított jármű) szolgáltatásával.

A jelenlegi csekély számú kész megoldáshoz a közeljövőben várhatóan több új – akár hazai – fejlesztés fog csatlakozni. Jelen írásmű is ehhez kívánt segítséget, útmutatást adni – a teljesség igénye nélkül.

¹⁴ Weiqun Shi, Gus Arabadjis, Brett Bishop, Peter Hill, Rich Plasse and John Yoder: Detecting, Tracking, and Identifying Airborne Threats with Netted Sensor Fence The MITRE Corporation Bedford, Massachusetts U.S.A (Fig. 1., Fig.3.)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. GORDOS GÉZA – TAKÁCS GYÖRGY: Digitális beszédfeldolgozás Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983 MŰ: 3443-k-8386 pp.:343
- [2] MARK R. BELL – ROBERT A. GRUBBS JEM modeling and measurement for radar target identification (online), url: <https://engineering.purdue.edu/~mrb/SelPub/JEMPaper.pdf> (2014. 03. 10.)
- [3] WIKIPEDIA Cepstrum (online), url: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cepstrum> (2014. 03. 10.)
- [4] L9: CEPSTRAL ANALYSIS (online), url: <http://research.cs.tamu.edu/prism/lectures/sp/19.pdf>
- [5] EUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTRE SPEAKER SEGMENTATION FOR AIR TRAFFIC CONTROL EEC Note No. 01/2008 (online), url: http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/report/2008/004_Speaker_segmentation_for_ATC.pdf (2014. 03. 10.)
- [6] JOHN H. I. HANSEN et. al. Morphological Constrained Feature Enhancement with Adaptive Cepstral Compensation (online), url: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.44.9150&rep=rep1&type=pdf> (2014. 03. 10.)
- [7] MAKKAY IMRE Elektromos hajtású repülőgépek konstrukciós megoldásai , Repüléstudományi Közlemények Különszám 2012. (e-dok) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/62_Makkay_Imre-Elektromos_hajtasu.pdf (2014. 03. 10.)
- [8] H.H. BROUWER S.W. RIENSTRA Aeroacoustics research in Europe: The CEAS-ASC report on 2007 highlights (online), url: <http://www.win.tue.nl/ceas-asc/Hilites/HL2007-JSV-318-2008-625-654.pdf> (2014. 03. 10.)
- [9] BERA JÓZSEF – POKORÁDI LÁSZLÓ Helikopterzaj elmélete és gyakorlata (online) url: <http://mek.oszk.hu/12000/12084/12084.pdf> (2014. 03. 10.)
- [10] BERA JÓZSEF – POKORÁDI LÁSZLÓ Repülési zaj kezelésének bizonytalansága Repüléstudományi Közlemények Különszám 2013 http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-55-Bera_Jozsef-Pokoradi_Laszlo.pdf (2014. 03. 10.)
- [11] VI PARAGLIDING PPG Noise (online) url: <http://www.youtube.com/watch?v=qUR1DFkMogY> (2014. 03. 10.)
- [12] MAYAMIKAN Electric paramotor 03 First flight (online) url: http://www.youtube.com/watch?v=1_utt219pk (2014. 03. 10.)
- [13] N. ROOSNEK Passive ranging with four microphones in a spatial configuration (online) url: http://www.roosnek.nl/passive_range.html (2014. 03. 10.)
- [14] BRENT C. KIRKWOOD Acoustic source localization using time-delay estimation (online) url: http://brentkirkwood.com/science/documents/BCK_MS_Thesis_Final_20030811.pdf (2014. 03. 10.)
- [15] TOPSONIC – AIRCRAFT NOISE AND FLIGHT TRACK MONITORING SYSTEM (online) url: <http://topsonic.aero/en/aircraft-noise-flight-track-monitoring-system.html> (2014. 03. 10.)
- [16] REAL-TIME 3D AUDIO DIRECTION FINDING (online) url: http://adsc.illinois.edu/sites/default/files/files/ADSC_Highlight_3D_Audio.pdf (2014. 03. 10.)
- [17] MASS HIGH TECH Local firms aim at city's gunshot-detection deal (online) url: <http://www.bizjournals.com/boston/blog/mass-high-tech/2007/02/local-firms-aim-at-citys-gunshot-detection.html?page=all> (2014. 03. 10.)
- [18] WIKIPEDIA Boomerang (countermeasure) (online) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Boomerang_\(countermeasure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Boomerang_(countermeasure)) (2014. 03. 10.)
- [19] SHOTSPOTTER FLEX (online) url: <http://www.shotspotter.com/solutions/shotspotter-flex> (2014. 03. 10.)
- [20] RHEINMETALL No chance for snipers (online) url: http://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/public_relations/themen_im_fokus/keine_chance_fuer_heckenschuetzen/artikel_heckenschuetzen.php (2014. 03. 10.)
- [21] IMRAN H. KHAN Remote acoustic detection of aircraft (online) url: <http://imranhkh.com/2011/05/05/remote-acoustic-detection-of-aircraft/> (2014. 03. 10.)
- [22] WEIQUN SHI et. al. Detecting, tracking and identifying airborne threats with netted sensor fence (online) url: http://cdn.intechopen.com/pdfs/15915/InTech-Detecting_tracking_and_identifying_airborne_threats_with_netted_sensor_fence.pdf (2014. 03. 10.)

Rácz Gábor¹ – Veress Árpád²

HÁLÓ- ÉS ANYAGTULAJDONSÁG-ÉRZÉKENYSÉGI VIZSGÁLAT FORGÓ ÁRAMLÁSI TÉR ELVÉN ALAPULÓ LÉGCSAVAR-SZIMULÁCIÓS MÓDSZER ESETÉN³

Napjaink légiközlekedésében a légszaváros meghajtó-rendszerek vizsgálata aktív kutatási terület, mivel alkalmazásukkal jó propulziós hatásfok érhető el, ami pedig szoros kapcsolatban áll a hatékony tüzelőanyag felhasználással. A légszaváros propulziós rendszerek költséghatékony tervezéséhez azonban elengedhetetlenül szükséges egy jól működő, a szoftverbeállításoktól független számítási eljárás, mely által e szerkezetek vizsgálata elvégezhetővé válik. Ezért a jelen cikk keretében egy kísérleti légszavárháló- és anyagtulajdonság-érzékenységi vizsgálatát végeztük el forgó áramlási tér elvén alapuló légszavár-szimulációs módszer esetén abból a célból, – a paraméterfüggetlenségi vizsgálatok mellett – hogy meghatározzuk az optimális konfigurációt a számítástechnikai kapacitás-szükséglet szempontjából. A tesztesetek vizsgálatához, kiértékeléséhez és összehasonlításához kumulatív relatív hiba-számítást végeztünk.

NUMERICAL ANALYSES AND PARAMETER SENSITIVITY ANALYSES OF THE ROTATING DOMAIN BASED PROPELLER SIMULATION METHOD

Nowadays, the examination of the propeller-driven propulsion systems is the active field of the research and developments due to their high propulsion efficiency and low fuel consumption. However, to design of a propeller-driven system, it is essential to have a well-established, validated and computationally cheap calculation procedure, which can be used independently from the parameter settings of the simulation. Hence, the main goal of the present investigation is to perform sensitivity analyses by means of mesh type, size and material properties in case of rotating domain based CFD simulations for an experimental propeller in order to keep the same results and having the most reasonable computational costs. Cumulative error has been used to ensure the quantitative comparisons of different configurations and to compare the results of different test scenarios with each other.

BEVEZETÉS

A járműiparban a hatékonyság növelése általánosan megfogalmazható célkitűzés. Ez alól természetesen a légi-járművek sem képeznek kivételt, jelentős számú kutatás foglalkozik innovatív módszerek alkalmazhatóságának vizsgálatával [15][16][17].

A meghajtó rendszerek tüzelőanyag fogyasztásának csökkentése és ez által a jármű hatékonyságának növelése, az adott gép típus vonatkozásában, annak piacképességét, továbbá távlati viszonyokat vizsgálva gazdasági sikerességét is jelentheti a gyártó számára.

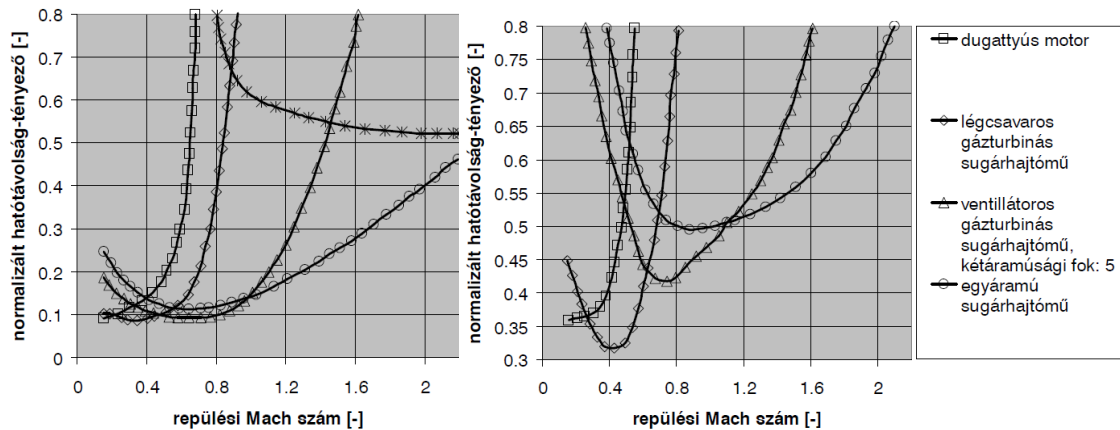
Az adott hajtómű típusok tulajdonságai jól jellemezhetők a normalizált hatótávolság-tényező segítségével, amely a tüzelőanyag és a hajtómű össztömegének, illetve a hajtómű tolóerejének a hajtóműgondola ellenálláserejével csökkentett hányadosa adott repülési sebességen és hatótávolságon. Az 1. ábra két hatótávolságon értékeli ki a normalizált hatótávolság-tényezők ala-

¹MSc hallgató, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, gabor656@gmail.hu

²PhD, egyetemi docens, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, averess@vrht.bme.hu

³Lektorálta: Dr. Varga Béla alezredes, főiskolai docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, varga.bela@uni-nke.hu

kulását a repülési Mach-szám függvényében. Az összefüggésből következik, hogy az alacsony értékek a jobbak [1].

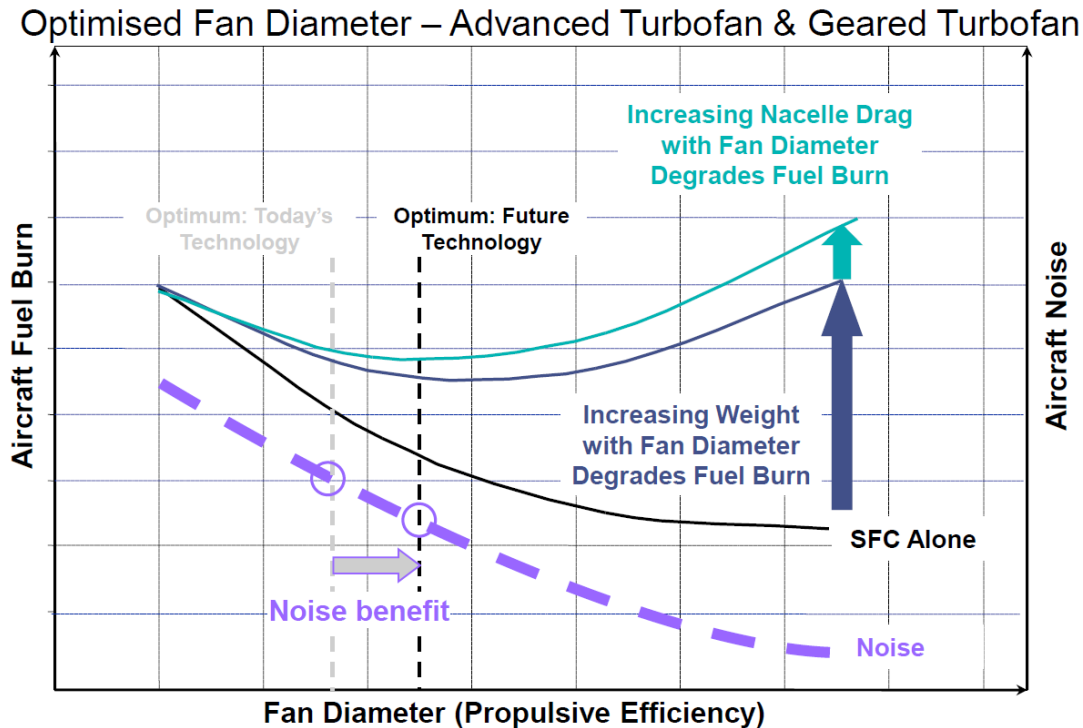


1. ábra A normalizált hatótávolság-tényező a repülési Mach szám függvényében (bal: 8000 [km] és jobb: 1000 [km] hatótávolság esetén) [1]

Jelen cikk keretben elsősorban a kis és a közép hatótávolságú légi járműveket helyezük vizsgálataink középpontjába, ugyanis napjainkban jelentős érdeklődés övezi ezt a tartományt. Ennek okai jól nyomon követhetők az 1. ábrán. Alacsonyabb repülési Mach-számok esetén a hatótávolság-tényező karakterisztikákról leolvasható, hogy kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkeznek a légszavas dugattyúmotorok és a légszavas sugárhajtóművek. Mindkét típusról elmondható, hogy jó propulziós hatásfokkal rendelkezik (80–92%), mely jelentősen hozzájárul az alacsony tüzelőanyag-fogyasztás eléréséhez. Természetesen mindkét rendszer esetén beszélhetünk fizikai korlátokból fakadó hátrányokról is. A légszavas dugattyúmotorok esetén a teljesítmény sűrűség problémakörét érdemes kiemelni, illetve azt, hogy a repülési Mach-szám növekedésével növekvő teljesítményigény lép fel, mely a dugattyúmotorokra jellemzően a propulziós rendszer homlokfelületének növekedését eredményezi. Ez pedig nagymértékben növeli a hajtóműgondolán ébredő légellenállás nagyságát. A turbólégszavas hajtóművel szerelt járművek – ahogy az ábrán is látható – nagyobb repülési sebességek esetén is alkalmazhatók, azonban ebben az esetben beszélhetünk korlátokról. A repülési Mach-szám és ezzel párhuzamosan a légszavar fordulatszámának növekedésével a légszavarlapátok szilárdságtani igénybevételei jelentős mértékben megnövekednek (húzófeszültség a lapáttőben és vibráció), továbbá a lapátvégeken hangsebesség feletti áramlások kialakulását követően leválások alakulhatnak ki. Ez egy kerülendő üzemi állapot, mivel a rendszer hatékonyságát nagyban csökkenti. Továbbá a zajterhelés is megnövekszik, ami polgári repülés viszonylatában jelentős problémát jelenthet.

A nagyobb repülési sebesség elérésének érdekében, illetve az előzőekben említett hátrányok leküzdésére alkalmas meghajtó rendszerek a nagy kétáramúsági fokú hajtóművek (lásd 1. ábra). A ventilátor lapátok köré épített ház és a lapátok kitérítése a vibrációt és a lapátvégeken kialakuló hangsebesség feletti áramlási sebességek kialakulását elkerülendő (illetve ez utóbbit bizonyos esetekben megengedő) megoldást szolgáltat. A módszer hátránya azonban az, hogy a kétáramúsági fok csökkenésével a propulziós hatásfok is csökken a korábbi légszavas repülőgépekhez képest. Ha ennek ellenére nagy kétáramúsági fokot szeretnénk elérni,

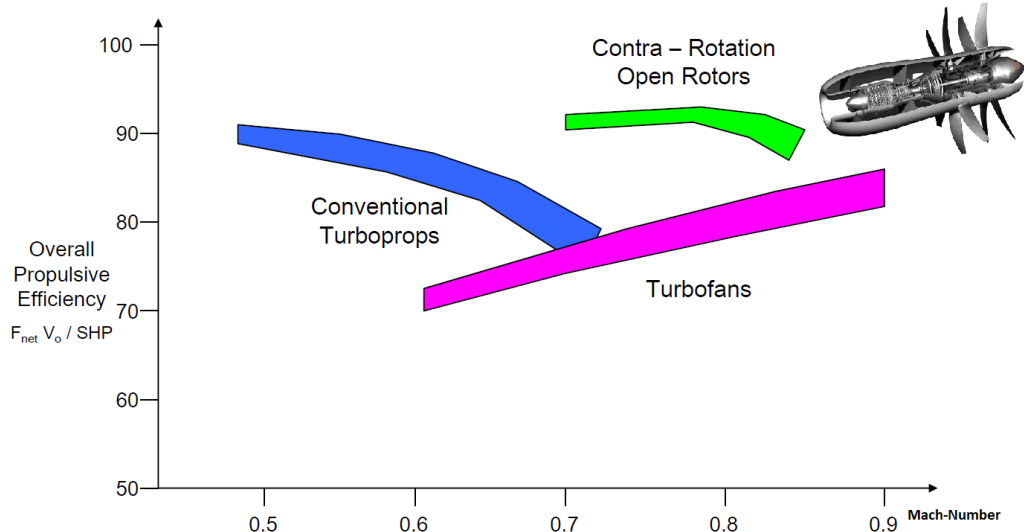
mely a jobb propulziós hatások és tüzelőanyag fogyasztás szempontjából lenne szükséges, akkor a hajtómű gondola ellenállása megnő, mivel a házba foglalt ventilátorlapátok átmérőjének megnövekedésével a rendszer homlokfelülete is megnő. Az említett probléma jól nyomon követhető a 2. ábra segítségével.



2. ábra Az optimális légszavár átmérő vizsgálata dimenziótlan paraméterek segítségével (Zöld és Kék görbék – „Turbofan” hajtóműveket jelölnek) [13]

A nagyobb repülési sebességek elérése és a jó propulziós hatások (alacsony tüzelőanyag-fogyasztás) közötti ellentmondásos kapcsolat feloldását az úgynevezett „Open Rotor, PropFan” légszavár ventilátoros hajtóművek jelentik. Az ilyen rendszerek esetén ugyanis a ventilátor lapátok nincsenek házba foglalva, ezáltal a lapát átmérő növelése nem vonja maga után a tömeg és légellenállás növekedését. A „Turbofan” hajtóművek esetén a jövőben elérhető optimális ventilátor átmérő elmarad az „Open Rotor” rendszerek átmérőjéhez képest, ami ez utóbbi esetén jobb propulziós hatásfokot és alacsonyabb tüzelőanyag fogyasztást eredményez [13].

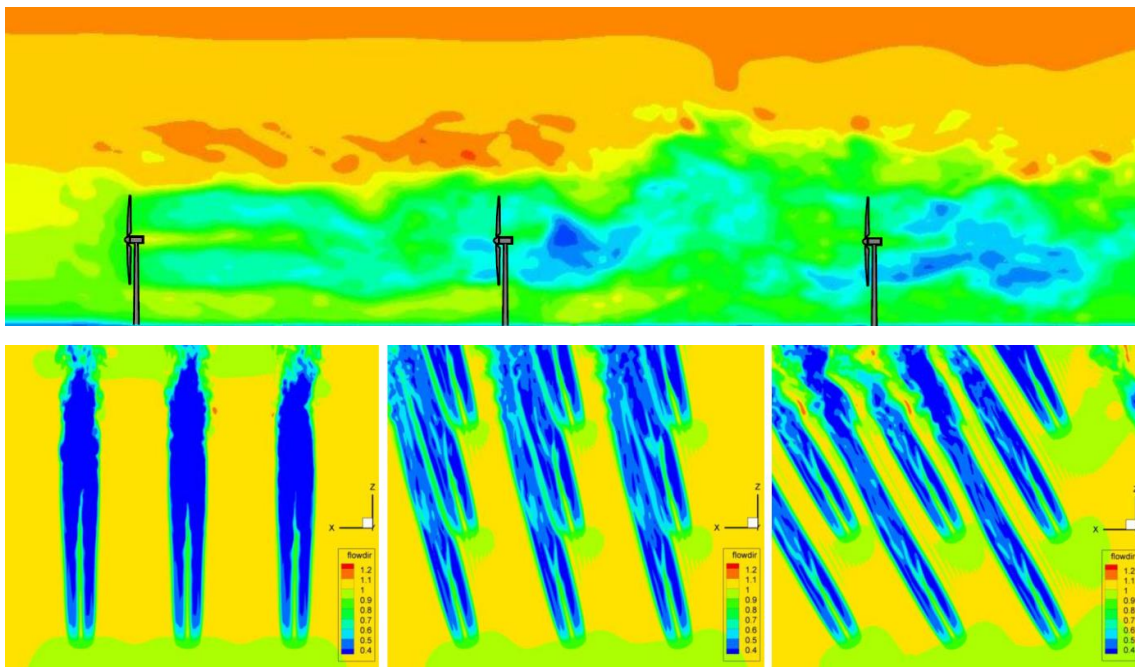
Eddigiekben többször is említett propulziós hatások jellemző értékeit követhetjük figyelemmel a Mach-szám függvényében a 3. ábrán. Megfigyelhető, hogy milyen kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkezik az „Open Rotor” rendszer. Mindazonáltal a légszavár ventilátoros hajtóművek örökölték a légszavarak problémáit is, mint például a nagyatmérőlű lapátok és a nagy fordulatszám miatt kialakuló vibrációt, a lapáttöbén ébredő nagy húzófeszültséget, továbbá azt, hogy a lapátokkal kölcsönhatásba került áramlás sebessége meghaladhatja a hangsebességet, ami lökeshullámokhoz és leválásos áramláshoz vezethet. Ezen okokból kifolyólag a légszavarakkal kapcsolatos kutatások napjainkban igen aktívak, hogy feltárják és kiküszöböljék az említett problémák forrásait. Ehhez a témához kapcsolódik a jelen kutatás témaköre is.



3. ábra Különböző hajtómű típusok propulziós hatásfokai a repülési Mach-szám függvényében [13]

Mind az ipar s mind a kutatás-fejlesztés területén jelentős szerepet töltenek be a numerikus áramlási szimulációk, mivel költséghatékonyak s nem igényelnek jelentős mérőapparátusokat. Mindazon által tény, hogy a szimulációk validációja az eredmények hitelessége szempontjából elengedhetetlen.

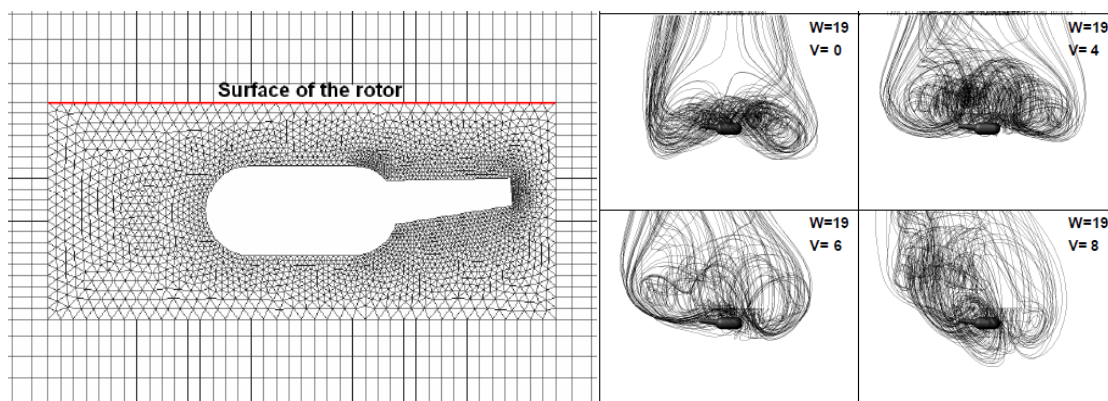
Jelen cikk keretein belül egy kísérleti légsavár CFD analízisét mutatjuk be. A légsavarak működésének szimulációja leggyakrabban két módszeren keresztül valósítják meg. Az egyik az „actuator disc” módszer, mely a légsavarak impulzus elméletének megfelelően a légsavart egy vékony tárcsával helyettesíti.



4. ábra „Actuator disc” módszeren alapuló szélturbina szimulációk (sebesség mezőn szemlélve az egyes szélturbinák egymásra gyakorolt hatása (a zínkskálán normalizált értékek találhatóak, tartományuk minden esetben azonos [0,4, 1,2, m/s]) [2]

Ezen a tárcsára kerül megadásra a légszár által generált egydimenziós sugár menti sebesség vagy torlóponthi nyomás eloszlás, amelyek például az impulzus és lepelem elmélet egyesítésével és Schmitz-módszerének segítségével határozhatók meg. A módszer előnye, hogy számítási kapacitás igénye alacsony, ezáltal komplex rendszerek vizsgálatára is alkalmas. Az „actuator disc” módszer fejlesztése és alkalmazása napjaink aktív kutatási területei közé tartozik. Elsőként egy olyan számítási eredményt emelnénk ki (lásd 4. ábra), amely a szélturbinák sebesség mezejének egymásra gyakorolt hatását vizsgálja és egy mérésekkel is alátámasztott szimulációs sorozatot mutat be [2]. Szintén egy hasonló analízissel foglalkozik a [3] forrás. Kiemelését azért tartottuk fontosnak, mert a vizsgálatokat hálóméret érzékenység vizsgálattal is alátámasztották.

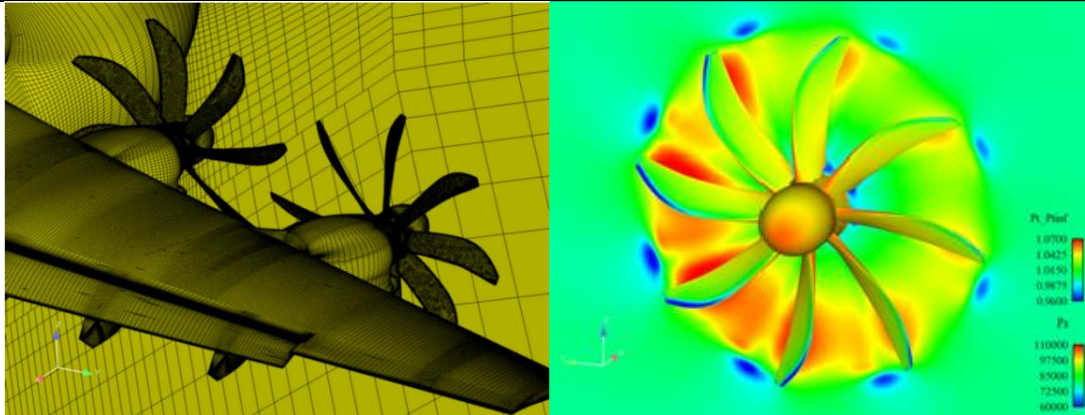
A következő tanulmány egy egyszerűsített helikopter modell CFD analízisével foglalkozik FLUENT környezetben [4]. Az előkészítési folyamat során egy hibrid hálós modellt készítettek (lásd 5. ábra). A szimuláció a korábbiakhoz hasonlóan „actuator disc” módszeren alapszik, ezen belül is a torlóponthi nyomásugrást használja fel a rotor működésének szimulációjához. Az 5. ábra bal oldalán a rotor által megzavart közeg áramvonalainak képét láthatjuk különböző repülési üzemművelet esetén.



5. ábra Baloldal: a helikopter szimulációjához elkészített hibrid háló; Jobboldal: a rotor által megzavart közeg áramvonalainak képe eltérő üzemművelet esetén [4]

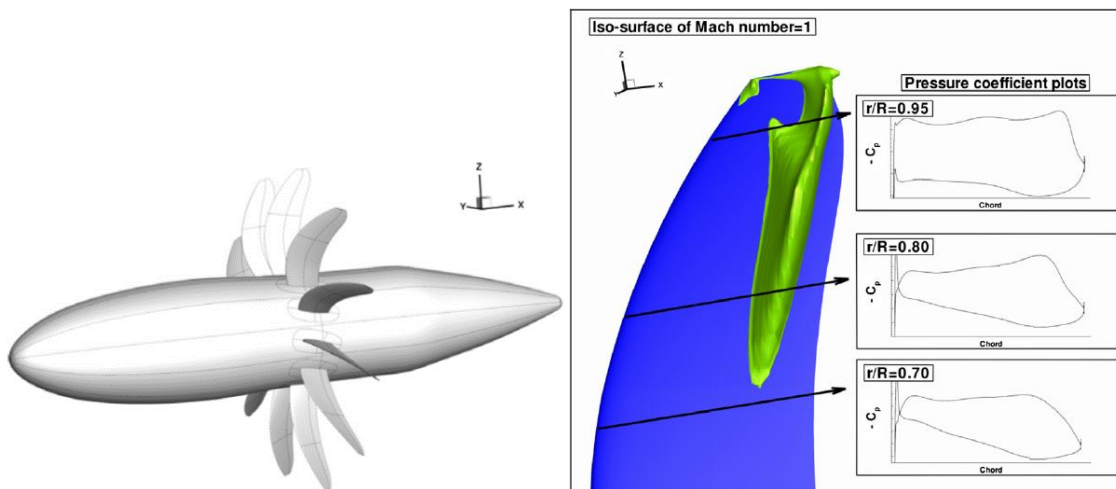
Egy másik szimulációs alternatíva a „rotating domain” (azaz forgó áramlástanai tér) módszer. Ebben az esetben a modell tartalmazza a teljes légszár geometriát, amely egy valóságosabb szimulációt eredményez, azonban a számítási kapacitás igénye jelentősebb és természetesen a számítási idő is jóval hosszabb az „actuator disc”-es közelítéshez képest.

A „rotating domain” elven alapuló módszerek közül is kiemelnénk két tanulmányt a nemzetközi szakirodalomból. Az első egy ANSYS CFX környezetben kidolgozott szimulációs eljárás, mely az aeroelasztikus jelenségekből származó lapátterheléseket vizsgálja egy légszár-ventilátoros hajtóművel szerelt A400M típusú katonai teherszállító repülőgép esetén (lásd 6. ábra) [5].



6. ábra Baloldal: a légszár-ventilátor vizsgálatához alkalmazott hibrid háló; Jobboldal: a nyomás eloszlások kiértékelése a ventilátor lapátokon és egy adott síkban (skálán a relatív statikus nyomások értékeinek tartománya: $[6 \cdot 10^4, 11 \cdot 10^4 \text{ Pa}]$) [5]

Végezetül légszár-ventilátoros hajtóművel szerelt szállító gép vizsgálatán alapuló kutatási eredményt mutatunk be (lásd 7. ábra). Ebben az esetben egy teszt geometriát alkalmaztak az eljárás egyszerűsítése érdekében [6]. Az analízis célja többek között a transzónikus lapátok által keltett zaj szimulációja volt. Megjegyzendő, hogy a légszár-ventilátoros hajtóművek esetén a zaj analízise és annak csökkentési lehetőségeinek feltárása napjaink aktív kutatási területei közé tartozik.



7. ábra Baloldal: a légszár-ventilátoros konfiguráció CAD modellje; Jobboldal: „Iso-surface” megjelenítést alkalmazva a lapát mentén kirajzolódó lokális hangsebességet elérő zóna [6]

Jelen tanulmányban a „rotating domain” szimulációs módszert alkalmaztuk és vizsgáltuk meg részletesen. Egy szimuláció elkészítése során a realitásra való törekvés mellett a hatékonyság, azaz gyorsan értékelhető eredményt generáló módszer kidolgozása is elsődleges szempont. Esetünkben a vizsgálat többlépcsősnek tekinthető. Elsőként két olyan modellt hasonlítottunk össze egymással, melyek közül az egyik figyelembe veszi a közeg összenyomhatóságát és az energia egyenletet (azaz a hőmérséklet változását), a másik ezzel szemben a szimulációs hatékonyság növelése érdekében eltekint a korábban említettektől. Folytatásként, megvizsgáltunk két olyan modellt, melyeket eltérő geometriai diszkrétizációs módszerek segítségével hoztunk létre. A vizsgálataink sorát egy háló méret érzékenységi vizsgálat zárja, mely által rálátásunk nyílik arra, hogy az eredményeket mennyiben befolyásolja az elkészített háló mérete.

Jelen analízis-sorozat egy olyan átfogó kép kialakításához vezet, mely alapján biztos módszerekkel készíthetjük el egy hasonló működési feltételek mellett üzemelő légszár numerikus áramlási szimulációját. Megjegyzendő azonban az, hogy a méréseken keresztüli validáció a szimulációs eredmények hitelességének ellenőrzése érdekében elengedhetetlenül szükséges.

A numerikus szimulációk elkészítése

A vizsgálataink középpontjában egy kísérleti négylapátos légszár áll, melynek geometriáját egy partner-intézmény biztosította a számunkra (TU Delft⁴). A szélcsatornás vizsgálatokhoz alkalmazott kísérleti berendezés 3D-s modellje a 8. ábrán látható. Egyetlen üzemállapotot vizsgáltunk meg, amelyhez $J=1$ (előrehaladási fok=1) és $V=30$ m/s (repülési sebesség) tartozik. A részletes specifikációkat az 1. táblázat tartalmazza.



8. ábra A szélcsatornás vizsgálatokhoz alkalmazott kísérleti berendezés 3D-s modellje [11]

Teszteset fő paraméterei	
Előrehaladási fok (J)	1 [-]
Zavartalan áramlási sebesség (V)	29,99 [m/s]
Propeller átmérő (D)	0,3048 [m]
Propeller lapátszám (B)	4 [db]
Propeller fordulatszám (n)	5901,9 [RPM]
Hőmérséklet (T)	25 [°C]
Statikus nyomás (p)	101091 [Pa]
Tengerszint feletti magasság (H)	0 [m]

1. táblázat A vizsgált teszteset fontosabb paraméterei

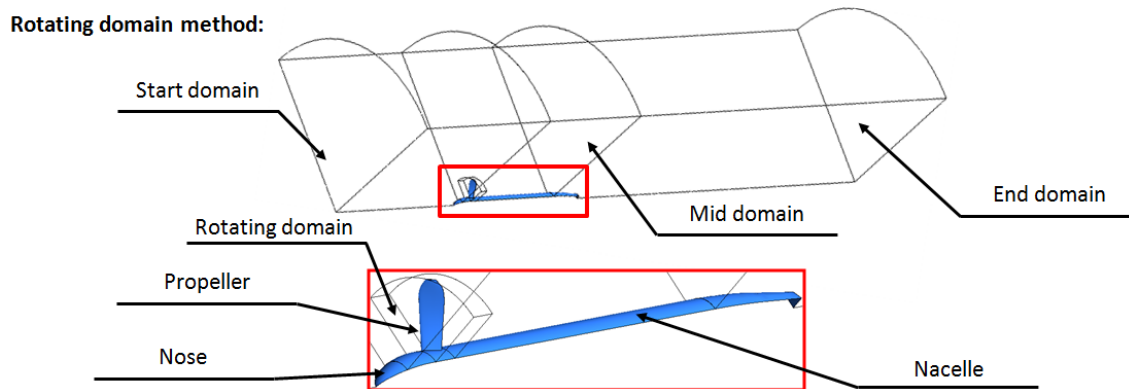
A megfigyeléseinkhez és az összehasonlításokhoz felvettünk egy, a légszár síkja mögött 56 mm-re található síkot, és e síkban fekvő egy egyenest (lásd 10. ábra). Ezen a síkon és egyenes mentén kerültek kiértékelésre a következő paraméterek: áramlási sebesség, torlóponti nyomás és statikus nyomás, melyek tekintetében kvalitatív és kvantitatív összehasonlításokat is készí-

⁴Delft University of Technology

tettünk. Az eljárások közötti eltérések számszerű kiértékelésére a kumulatív relatív hibát alkalmaztuk (1).

$$\varepsilon = \frac{1}{Z} \int \sqrt{\frac{(p_{i, \text{basic}} - p_{i, \text{examined}})^2}{p_{i, \text{basic}}^2}} dz \quad (1)$$

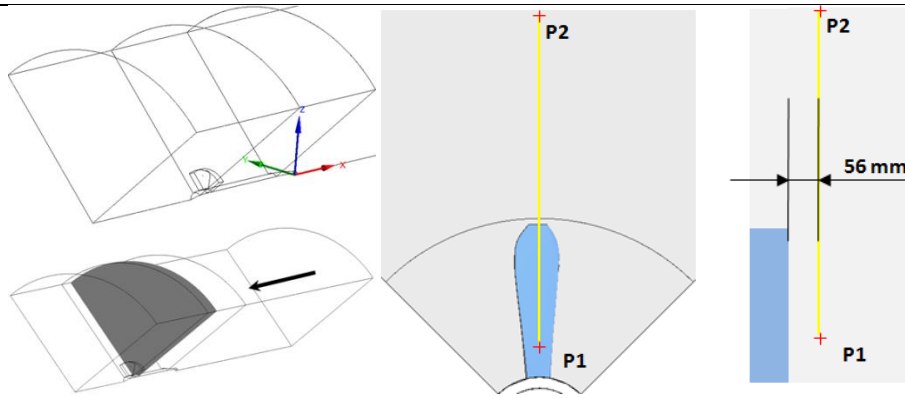
A modell, ahogy az a 8. ábrán is látható, igen egyszerű és letisztult, azonban a perprocesszálás folyamatát geometriai egyszerűsítéssel kezdtük. A megfigyelt síkon és egyenesen a nyomás és a sebesség eloszlásának pontos meghatározásához elégségesnek találtuk egy, a kísérleti berendezés negyedét magába foglaló modellt is (lásd 9. ábra). Továbbá azt is mérlegeltük, hogy milyen hatást gyakorolhat a szélcsatorna a teszrendszerre. Az előzetes vizsgálatok alapján arra következtetésre jutottunk, hogy eltekinthetünk egy valós csatorna modellezésétől, így a modell hálózás szempontjából egyszerűsödött, mivel ez által nem volt szükség megfelelő mi-



9. ábra Az áramlási tér modelljének négy alap egysége („Start domain” – Első szekció, „Mid domain” – Középső szekció, „End domain” – Utolsó szekció, „Rotating domain” – Forgó tér) továbbá a szerkezet fő elemei („Nose” – Orr, Propeller és „Nacelle” – Gondola)

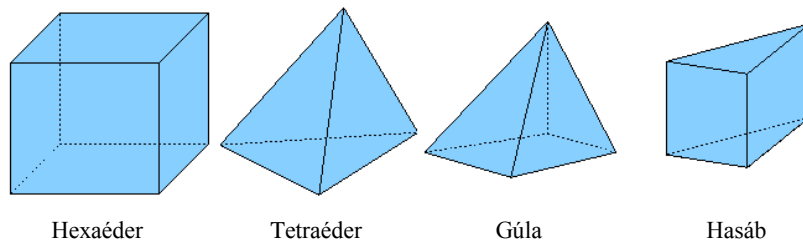
nőségű határréteg háló kialakítására a szélcsatorna fala mentén. Továbbá a negyed-modell jelentette approximáció olyan lehetőséget is biztosított, amely által nagyobb sűrűségű és jobb minőségű hálót tudtunk kialakítani a vizsgált zónában. A 9. ábrán megfigyelhető, hogy az áramlási tér egy álló és forgó térből áll, továbbá az álló teret további részekre bontottuk. Ennek oka az, hogy egy olyan hibrid hálót terveztünk elkészíteni a szimulációhoz, mely a vizsgálat tárgyát képező légszár és az azt elhagyó légáram nyomában strukturált hálóelemekből áll, a belépő szegmens és a légszár mögötti távlat pedig strukturálatlan hálóelemekből épül fel.

A háló generálási folyamat minden esetben az ANSYS Workbench 13 szoftver környezetben történt. Ahogy az már a bevezetőben is elhangzott több különböző hálót készítettünk el.



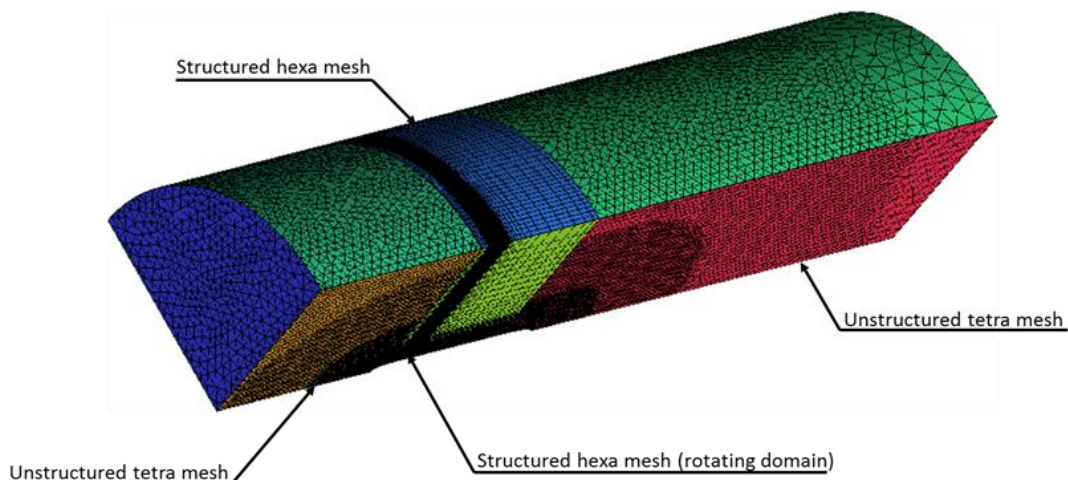
10. ábra Bal felső: a modell koordináta rendszere, Bal alsó: a vizsgált sík és a megtekintés iránya, Jobboldal: a kiértékeléshez definiált egyenes (koordinátái a két végpontja alapján a következő: $[P1, P2] = [(-0,707, -0,001, 0,1524), (-0,707, -0,001, 0,3048)]$ [m])

Ezek négy hibrid (strukturált és strukturálatlan háló kombinációja) és egy teljesen strukturálatlan hálót jelentenek. A 11. ábra különböző 3D-s hálóelemeket mutat be.



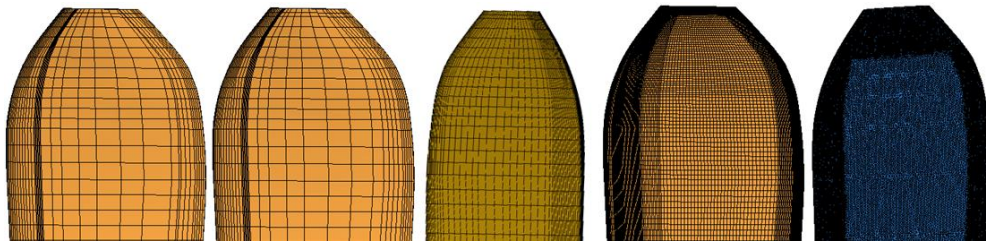
11. ábra Az alapvető háromdimenziós hálóelemek

Egy teljesen strukturált modell esetén kizárólag hexaéder típusú elemek alkotják a hálót. Az esetünkben azonban a négy áramlási részből felépülő modelltől áll ilyen elemekből, azaz azok strukturáltak. Strukturálatlan geometriai diszkretizáció esetén az ábrán is látható három másik elemből – tetraéder, gúla és hasáb – építi fel a hálót a szoftver. Érdeemes megemlíteni, hogy más forrásokban hibrid hálónak nevezik a korábban említett három elem típusból álló hálókat is, azonban a mi esetünkben ez a különböző eljárásokkal történő diszkretizációk kombinációját jelenti.



12. ábra A negyed modell hibrid hálója („Structured hexamesh” – Strukturált hexa háló, „Unstructured tetramesh” – Strukturálatlan tetra háló)

A 12. ábrán látható az elkészült áramlástani tér hibrid hálója. A strukturálatlan háló esetén szintén megtartottuk a modell feldarabolt jellegét, mivel így lehetett konzekvens összehasonlítást végrehajtani a különböző módszerek között. A hálózási eljárások eredményeit a lapát felületi hálóján keresztül mutatjuk be (lásd 13. ábra). Megfigyelhető, hogy a lapát mentén miként változtattuk a háló sűrűségét, ami a későbbiekben a háló méret érzékenységi vizsgálatához szolgáltatta az alapot. Az ábrán látható hálóok közül a harmadikat, azaz a 2,2 millió elemszámú modellt neveztük el alapmodellnek. A kumulatív relatív hiba számításához szükséges egy "viszonyítási pont" (ideális esetben ez egy mérési eredmény), melyhez mérve értékeljük ki a különböző módszerekből származó adatokat. Jelen esetben erre a célra az alapmodell fog szolgálni. A strukturált és a strukturálatlan hálózási módszerek alkalmazásával kiszámított



13. ábra A légsavarlapát felületén definiált felületihálók; (Balról-jobbra az elemszámok: $7,9 \cdot 10^5$, $1,5 \cdot 10^6$ /a felületiháló nem változott ezekben az esetekben, az állórészek elemszáma nőtt meg/, $2,2 \cdot 10^6$ /Alapmodell/, $8 \cdot 10^6$, $22 \cdot 10^6$ /strukturálatlan/)

eredmények összevetésének elsősorban a szimulációs eredmények pontosságának szempontjából van jelentősége. Minden szimuláció összeállításakor mérlegelni kell, hogy milyen minőségű háló szükséges az adott feladat elkészítéséhez, mivel csak ha az idő és munka ráfordítást vizsgáljuk jelentős különbség mutatkozik a különböző eljárások esetén. A strukturált háló készítése komplex ipari modellek felhasználása esetén ritkán alkalmazható, mivel rendkívül időigényes és komoly tapasztalatot igényel. Ezzel szemben a strukturált háló használata elterjedt a térbeli diszkretizáció pontosságának növelése érdekében az áramlásra merőleges és vele párhuzamos cellahatár-elrendezés esetén azokban a kutatás-fejlesztési projekteknél, ahol a geometria megengedi alkalmazását [7][8][10]. Az említett tulajdonságok ismeretében megállapítható, hogy a különböző hálótípusok összehasonlítása fontos kérdés (ilyen jellegű összehasonlítással több értekezés is foglalkozik, például a [9]), mivel ez által egy adott szimulációs típusról – esetünkben ez a légsavar modellezés – ki tudjuk deríteni, hogy mennyire igényli a strukturált kialakítást. A teljes eljárás jósága azonban így nem, kizárólag mérések útján állapítható meg.

A háló-generálási művelet során minden esetben különös figyelmet fordítottunk a megfelelő határréteg-háló kialakítására, melynek célja a fal mentén áramló közeg fizikailag pontos megoldása.

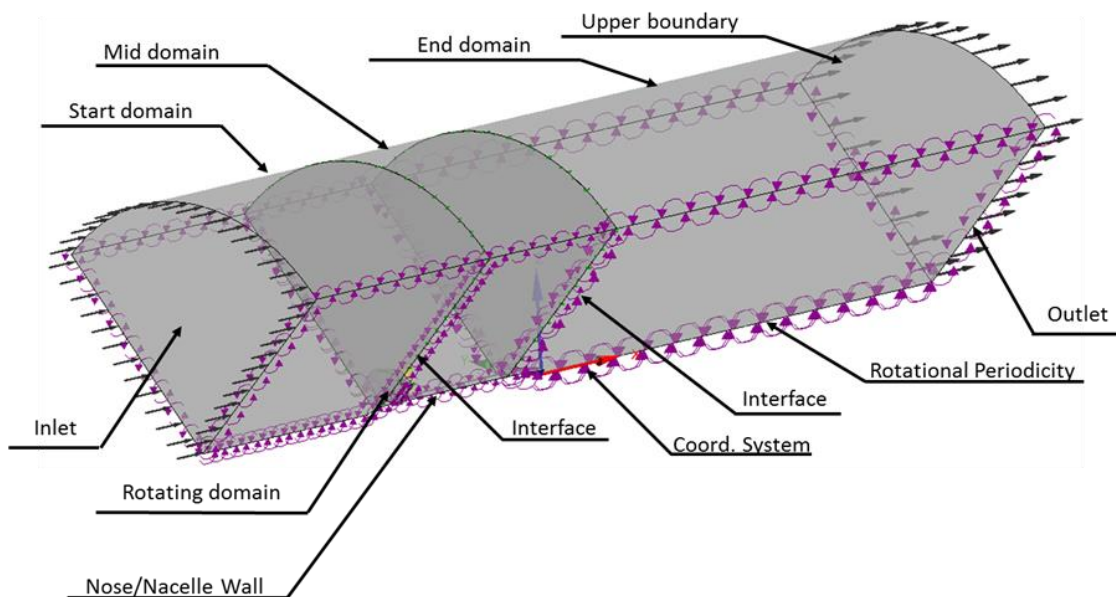
A hálózási művelet egyik fontos és vizsgálandó része a dimenziótlan faltávolság (y^+). Ennek jelentősége abban rejlik, hogy milyen feltételek mellett milyen eljárást használ a szoftver a fal-közeli áramlások leírására. A határrétegben lezajló folyamatok modellezésére kétféle közelítés terjedt el; a „Wall Function Approach” és a „Near-Wallmodel Approach”. A program automatikusan alkalmazza az elkészült háló és az áramlás tulajdonságai alapján azt, amelyik leginkább megfelelő. Ha az y^+ értéke egy körüli, akkor a határréteg megfelelő felbontása mi-

att a „Near-Wallmodel Approach” eljárást (a modell-egyenleteket minden fal közel cellára megoldja a program), ha $30 < y^+ < 300$, akkor ANSYS CFX esetén a logaritmusos faltörvényt használja a szoftver, amelyet elsősorban leválás-mentes áramlásra ajánlanak [14]. Az y^+ értékének ellenőrzésére természetesen csak a számítás lefuttatása után kerülhet sor. Az eredményeknek a hálómérettől és a határréteg-felbontástól függetlennek kell lennie.

Egy szimuláció elkészítésekor egyrészt törekedni kell arra, hogy a valóságos folyamatokkal leginkább megegyező beállításokat alkalmazzunk, másrészt pedig a hatékony modellalkotásról és a szimuláció gyorsaságáról sem szabad megfeledkeznünk. A modellezni kívánt folyamat szempontjából át kell tekinteni mely fizikai paraméterek figyelembevétele szükséges elengedhetetlenül, és célszerű kizárni azokat, melyek hatása nem jelentős. Természetesen ez a módszer egy közelítő eredményhez vezet, azonban ha rövidebb időn belül értékelhetően pontos eredményt szolgáltat, akkor elfogadható. Jelen esetben a sűrűség és a hőmérséklet, vagyis a kompresszibilitás hatását vizsgáltuk meg. Ez által ugyan is a szimuláció iteratív eljárása során megoldandó impulzus-, tömeg- és energia-megmaradás, valamint a turbulencia modellek egyenleteiben található ismeretlenek – azaz változó paraméterek – száma és így a számítási idő is csökken. A későbbi eredmények kiértékelését magába foglaló fejezetben térünk vissza az összehasonlítás eredményeire.

Egy kutatás-fejlesztési folyamat, mely aktívan alkalmazza a szimulációs módszerek adta lehetőségeket, ideális esetben háló paraméter érzékenységi vizsgálattal, továbbá az eredmények méréseken keresztüli validációjával (vagy szakirodalmi adatokkal való összehasonlítással) kezdődik. Jelen esetben háló méret érzékenység vizsgálatot végeztünk annak érdekében, hogy feltárjuk és verifikáljuk, hogy milyen mértékben gyakorol hatást a háló minősége az analízis eredményeire. Az érzékenységi vizsgálat négy különböző hibrid hálós modellre készítettük el.

Még mielőtt az eredmények bemutatására térnénk rá, a numerikus analízis peremfeltételeit mutatjuk be (lásd 14. ábra). A szimulációk minden esetben állandósult állapotokat vizsgálnak („Steady State Simulations”), a légcsavár áramlásra gyakorolt hatásának időbeli változása, azaz a tranziens folyamatok analízise, jelen esetben nem képezte részét feladatainknak.



14. ábra Az álló áramlási tér elemei és határoló-felületein előírt peremfeltételek és csatlakozó felületek

A hálóméret-érzékenységi vizsgálat mellett, a szimulációink során két különböző anyagtulajdonság hatását is megvizsgáltuk. Az első esetben a teret ideális gázként értelmezett levegőnek állítottuk be, második esetben pedig összenyomhatatlan levegőnek feltételezett tulajdonságokat definiáltuk. Ennek megfelelően először a hőközlés beállítási lehetőségei közül a „Total Energy”-t választottuk ki az ideális gáztörvény alkalmazása mellett, ellenben a második esetben, ahol elhanyagolva a kompresszibilitás hatását, „Isotherm” folyamatot definiáltunk állandó 25 °C-os hőmérséklet mellett. A szimuláció peremfeltételei és főbb beállításai a 14. ábrán láthatók. A továbbiakban taglalt beállítások minden esetben azonosak voltak. A referencia-

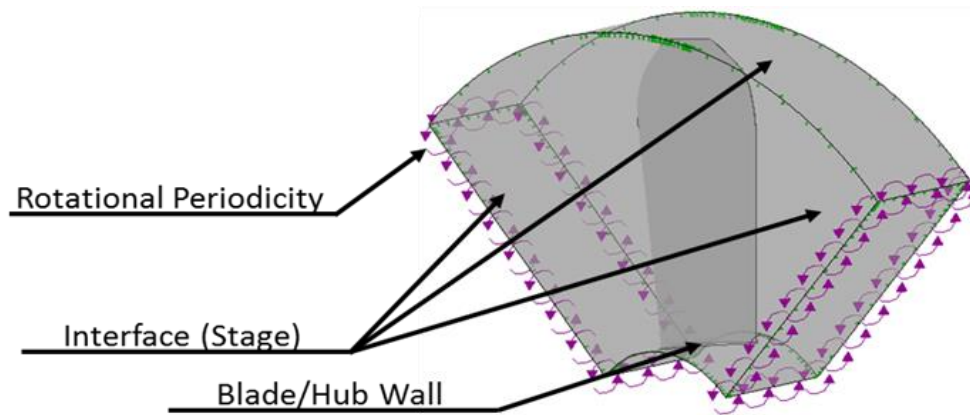
Start/ Mid/ End Domain	Domain Type: Fluid Domain Material: Air at 25 °C (Ideal gas) Reference pressure: 101091 Pa Domain Motion: Stationary Heat Transfer: Isotherm (Total Energy); Fluid temperature: 25°C Turbulence Model: Shear Stress Transport Transitional Turbulence: Fully Turbulent
Rotating Domain	Domain Type: Fluid Domain Material: Air at 25 °C (Ideal gas) Reference pressure: 101091 Pa Domain Motion: Rotating: -5901,9 RPM Heat Transfer: Isotherm (Total Energy); Fluid temperature: 25 °C Turbulence Model: Shear Stress Transport Transitional Turbulence: Fully Turbulent
Inlet	Flow regime: Subsonic flow Mass and Momentum Option: Normal Speed: 29,99 m/s Turbulence: Medium Intensity =5%
Outlet	Flow regime: Subsonic flow Mass and Momentum Option: Relative Pressure: 0 Pa
Nacelle/Nose/Blade/Hub walls	No slip wall with smooth wall roughness option Heat Transfer: Adiabatic
Upper boundary of the domains	Free slip wall

2. táblázat A szimuláció peremfeltételei és fő beállításai (zárójelben található az eltérő anyagmodellhez tartozó tesztetést eltérő beállításai)

nyomás 101091 Pa, az ettől eltérő nyomás peremfeltételeket relatív nyomásként definiáltuk ott, ahol ennek megadása szükséges volt. A turbulencia modellt Menter SST⁵ módszere alapján állítottuk be. Az állórészek felső peremeit („Upperboundary”), azaz a hengerpalástszegmenst, súrlódásmentes falként definiáltuk. A közeg a vizsgált térbe az „Inlet” felületen lép be 29,99 m/s normál irányú sebességgel (lásd 14. ábra). Interfész kapcsolatot definiáltunk a különböző módon hálózott álló „domain”-ek (áramlási terek) között, továbbá a térfogatok oldalain periodicitást írtunk elő. A közeg a teret az „Outlet” felületen hagyja el 0 Pa relatív nyomással. A gondola és a szerkezet orr részét („Nacelle” és „Nose”) adiabatikus súrlódásos falként definiáltuk. Az előírt peremfeltételek tartományait a 14. ábra mutatja be és értékeit a 2. táblázat foglalja össze. A 15. ábra a forgó áramlástanian definiált peremeket szemlélteti. A lapátot és a lapáttövet („Blade” és „Hub”) adiabatikus falként adtuk meg, a tér két oldalsó falán „Rotational Periodicity” periodikusságot írtunk elő. A forgó „domain” elülső, a hátsó és

⁵Shear Stress Transport

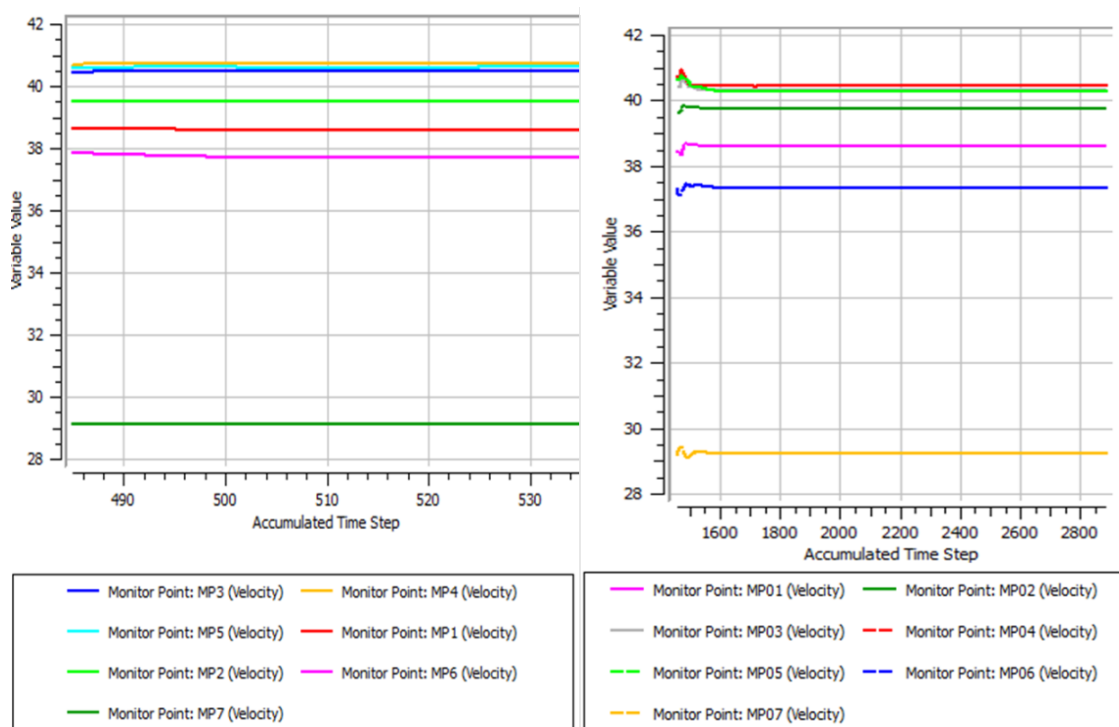
a felső felületein keresztül kapcsolódik álló áramlástanai térhez. Ezekre a felületekre „Stage” típusú interfészeket állítottunk be, hiszen ebben az esetben nincs jelentősége a lapátnyom hatásának. Az áramlástanai tér fordulatszám: 5901,9 RPM.



15. ábra A forgó áramlástanai tér peremfeltételei és kontakt kapcsolatai

A szimulációs eredmények kiértékelése

A számítások peremfeltételeinek megadását követően a tesztesetek lefuttatása következett az „ANSYS Solver” moduljának segítségével. A „Solver” beállításainál megadtuk a maximális iterációk számát (2000 iteráció), azonban az esetek többségében kevesebb lépés alatt értünk el konvergens eredményt. Mindemellett, „Monitor Point”-okat (megfigyelési pontokat) hoztunk létre, amelyekben a vizsgált paraméterek (sebesség, statikus és torlóponyi nyomás) értékeinek változását tudtuk követni az iterációs lépések folyamán (azaz az adott paraméter konvergencia görbáját). Ennek köszönhetően pontosan meg tudtuk állapítani azt, hogy mikor konvergált be egy adott szimuláció. Minden számítás konvergens eredményre vezetett. A 16. ábra a hibrid alapmodell és a teljesen strukturálatlan hálós modell sebesség-konvergenciáit ábrázoltuk a megfigyelési pontokban. Az egyes tesztesetek definíciója a következő alfejezetben található.

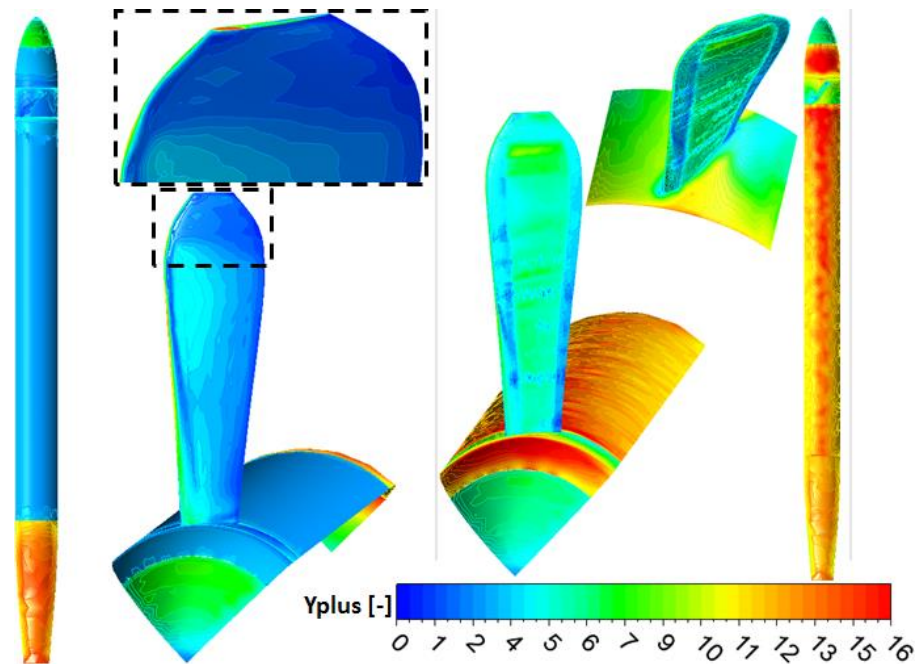


16. ábra Baloldal: a hibrid alapmodell sebesség konvergenciái a megfigyelési pontokban; Jobboldal: a teljesen strukturálatlan hálós modell sebesség konvergenciái a megfigyelési pontokban (az egyes modellek definíciói a következő alfejezetben található)

Az eredmények értékelése és a vizsgált tesztesetek összehasonlítása

A vizsgálni kívánt paraméterek áttekintése előtt ellenőrizzük le a dimenziótlan faltávolságok (y^+) alakulását a falak mentén (17. ábra). A paraméter fontosságát már korábban is kiemeltük, értékének általában 1 körül (5 alatt) vagy [30, 300] között célszerű lennie [14]. A hálógenerálási folyamata során ennek az alacsonyabb értékét tűztük ki célul: $y^+ \approx 1$. A hibrid hálós modellek esetén a határréteg felbontása – a vizsgálati zónában – megfelelt a fenti elvárásainak. Mindazonáltal a hibrid hálóknál is láthatunk ennél magasabb értékeket, de azok már távol esnek a vizsgált zónától így ezek további javításától eltekintettünk. A teljesen strukturálatlan háló esetén azonban az is megfigyelhető, hogy a határréteg felbontottsága nem elégséges és nem teljesítette a fenti elvárásainkat. Az eredmények megtekintésekor azonban, arra a következtetésre jutottunk, hogy a vártnál nagyobb y^+ értékek ellenére a modell kielégítő egyezőséget mutatott a többi eljárással.

A 10. ábrán látható sárga vonallal az egyenes, amely mentén a jelen fejezetben értékeljük ki a vizsgált paramétereket. Az összes tesztesetet egy adott paraméter esetén azonos ábrában ábrázoljuk. A 18. ábra a jelölési rendszert mutatja be. Ez a módszer (színek és vonaltípusok) érvényes az összes karakterisztika esetén. A hálóparaméter érzékenységi vizsgálat eredményei a sebesség és nyomás eloszlás mezőket összevető karakterisztikákba nem kerültek be, de a kumulatív relatív hiba analízis kiszámításánál már feltüntettük őket. A kumulatív relatív hiba kiszámításakor a viszonyítási alap minden esetben az alapmodell volt (alapmodell: 2,2 milliós elemszámú hibrid háló, izotermikus (energia egyenlet nélküli) és összenyomhatatlannak feltételezett közeg).

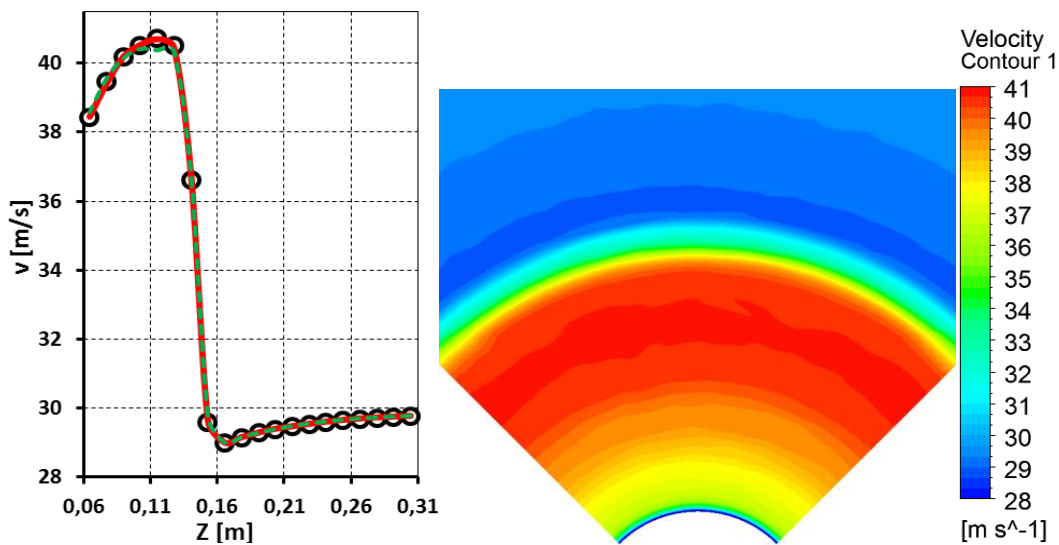


17. ábra A dimenziótlan faltávolság (y^+) alakulása a teszrendszer falai mentén (Baloldal: a hibrid hálós alapmodell; Jobboldal: a teljesen strukturálatlan háló)

Az abszolút sebességeket a 19. ábrán mutatjuk be a Z koordináta tengely függvényében. Az ábra értelmezése mindenesetben a következő: a koordináta rendszer baloldalától indulva a légsavar nyomában a megzavart tér sebesség eloszlás mezejét figyelhetjük meg 0,1524 [m]-ig, azaz a légsavar-lapátvégéig. A koordináta rendszer végén pedig már a zavartalan közeg sebesség értékei követhetők a grafikonon. A 19. ábra jobboldalán jól látható, ahogy a légsa-

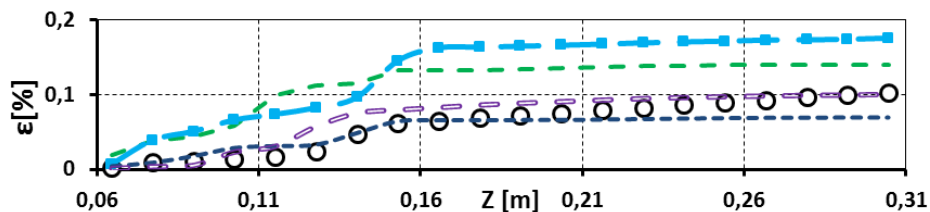
- Elemszám: $2,2 \cdot 10^6$; TotalEnergy; $\rho \neq \text{const}$; Hibrid háló
- Elemszám: $1 \cdot 10^6$; Isotherm; $\rho = \text{const}$; Hibrid háló
- Alapmodell_Elemszám: $2,2 \cdot 10^6$; Isotherm; $\rho = \text{const}$; Hibrid háló
- Elemszám: $7,9 \cdot 10^5$; Isotherm; $\rho = \text{const}$; Hibrid háló
- Elemszám: $2,2 \cdot 10^6$; Isotherm; $\rho = \text{const}$; Strukturálatlan háló
- Elemszám: $8 \cdot 10^6$; Isotherm; $\rho = \text{const}$; Hibrid háló

18. ábra Az egyesített jelmagyarázati rendszer



19. ábra Baloldal: az abszolút sebesség eloszlások alakulása a vizsgált görbe (lásd 10. ábra) mentén a különböző modellek esetén; Jobboldal: az alapmodell sebesség eloszlása a vizsgált síkban

varhoz érkező áramló közeget miként módosítja a légcsvár. A véges lapátok elméletének megfelelően a lapátvég felé közeledve a sugár mentén csökken az indukált sebességek nagysága. Az eredmények jól tükrözik az elvárásainkat, az alapmodell jó közelítésnek bizonyult, mivel a valóságot legjobban közelítő anyag modell⁶ esetén 0,103% a kumulatív relatív hiba értéke (20. ábra). Az ilyen alacsony értékű hiba százalékok a szimuláció numerikus hibáinak nagyságrendjén belüliek.

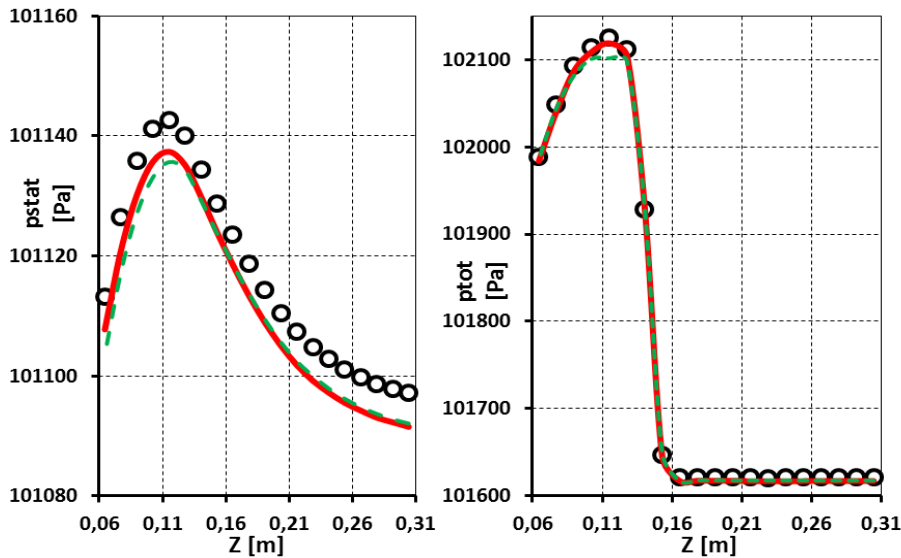


20. ábra A sebességek kumulatív relatív hibái

Jelen eredmény jelentősége abban rejlik, hogy a szimulációs eljárás számítási idejét csökkentük azáltal, hogy csökkent a változó paraméterek száma, melyeket a „Solver” modulnak figyelembe kell venni a probléma megoldása során. További eredményként könnyelhető el az is, hogy az ipari gyakorlatban széles körben alkalmazott strukturálatlan hálózási eljárás is szinte egyező eredményt produkált a legpontosabbnak feltételezett közelítéssel. Ennek a teszt-esetnek 0,14% volt a kumulatív relatív hibája. Ez a hasonlóság biztos alapot nyújt ahhoz, hogy a bemutatott légcsvár szimulációhoz hasonló háló méret és peremfeltétel-rendszer, de strukturálatlan háló alkalmazásával elkészített szimuláció is jó eredményre vezessen. Megjegyzendő azonban az, hogy egy strukturálatlan hálóval rendelkező modell számítási pontossága – az alkalmazott numerikus módszer esetén –általában kisebb, mint egy hexa hálós modellé abban az esetben, ha a hálóelemek merőleges és párhuzamos irányokban helyezkednek el az áramlás irányára. Jelen esetben ilyen különbség nem lépett fel, aminek számos oka is

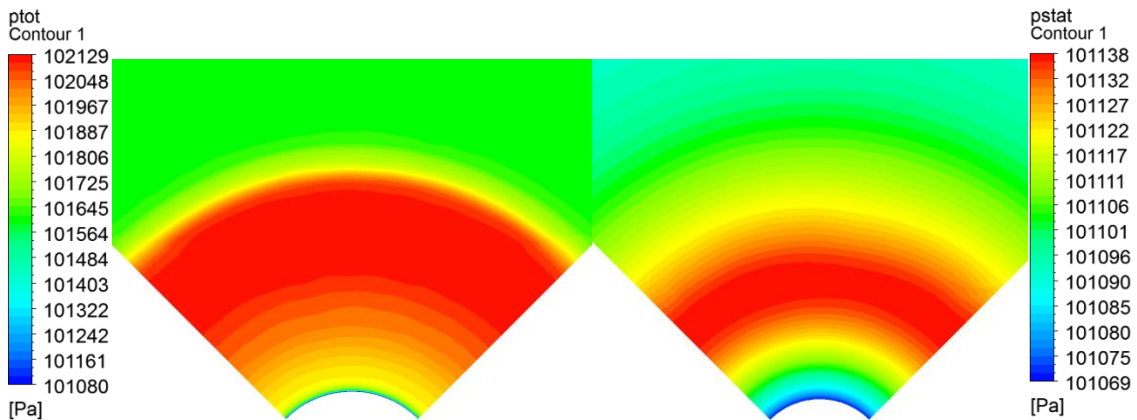
⁶ 2,2 milliós elemszámú hibrid háló, hőmérséklet változóparaméter, összenyomható közeg

lehet pl. az alacsony áramlási sebességek, kis gradiensek, illetve az időben beállt folyamat vizsgálata. A statikus nyomások esetén (lásd 21. ábra, baloldal) szintén megfigyelhető, hogy az eltérő modellezési módszerek hasonló eredményre vezettek. A 21. ábra jobboldalán a torlóponthi nyomás jelleggörbéi is jól korrelálnak egymással. Ez természetesen azzal indokolható, hogy ebben a tagban a statikus nyomás és az abszolút sebesség négyzete is szerepel.



21. ábra Baloldal: a torlóponthi nyomás eloszlások alakulása a vizsgált görbementén; Jobboldal: a statikus nyomás eloszlások a vizsgált görbe mentén

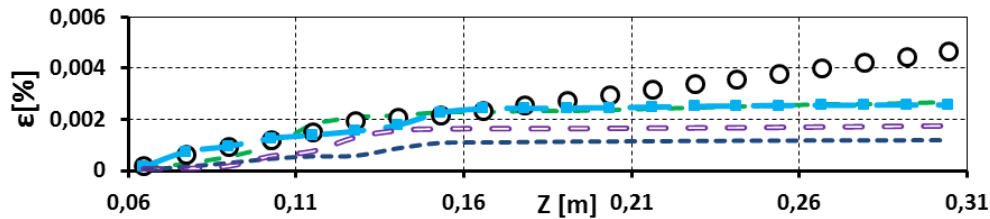
Mind a torló- mind a statikus nyomás esetén a kumulatív relatív hiba értéke kisebb, mint 0,006% (lásd 23. és 24. ábrák). A 22. ábra a torlóponthi és statikus nyomás eloszlásokat szemlélteti a kiválasztott síkban (a sík helyzetét és a megtekintés irányát lásd a 10. ábrán).



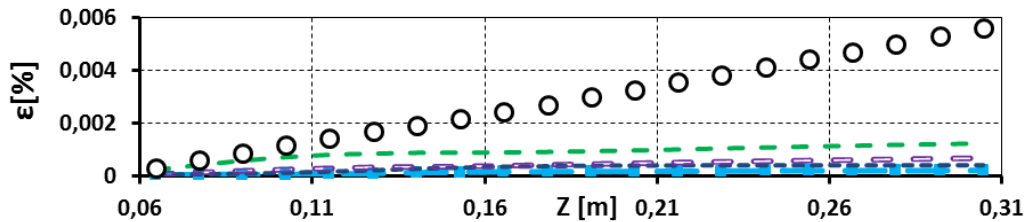
22. ábra Baloldal: a torlóponthi nyomás eloszlás a vizsgált síkon; Jobboldal: a statikus nyomás eloszlás mező alakulása a vizsgált síkon

Ahogy már korábban említettük, háló-méret érzékenységi vizsgálatokat is végeztünk. A 20. ábra szemlélteti az érzékenységi vizsgálatok vonal menti kumulatív relatív hiba számítás által kiértékelt eredményeit. Az ábrákon az adott diszkrét pontokban meghatározott hibaszázalékok egymást követő összegzése látható, azaz az diagramok jobboldalán (a végén) látható az összegzett hiba értéke. Négy eltérő háló sűrűség által generált eredmények alapján kijelenthető (a négyből egy a viszonyítási alap), hogy a vizsgált hibrid hálós tesztek esetén a hálósűrűség igen csekély befolyást gyakorolt az analízisre. Az oka, nagy valószínűséggel az lehet,

hogy a strukturálthálóval elkészített és megfelelő mértékben felbontott határréteg minden esetben kielégítő volt, így nem gyakorolt észlelhető hatást a számítási pontosságra.



23. ábra A torlóponyi nyomás eloszlások kumulatív relatív hibái



24. ábra A statikus nyomás eloszlások kumulatív relatív hibái

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen munkában egy háló- és anyagtulajdonság-érzékenységi vizsgálat eredményeit mutattuk be forgó-áramlási tér elvén alapuló légcsvár-szimulációs módszer esetén. A légcsvarak szimulációkon keresztül történő vizsgálata napjainkban igen aktív kutatási terület, mivel az ilyen elven működő hajtóművek propulziós hatásfoka nagy, tüzelőanyag fogyasztásuk kedvező, ezért fejlesztésük aktív kutatási terület. Célunk e témához kapcsolódóan az volt, hogy feltárjuk annak lehetőségeit, hogy miként lehet növelni a CFD szimulációk hatékonyságát a számítási idő csökkentésével és a pontosság növelésével a „rotating domain” elvén alapuló számítási eljárások esetén. Ennek érdekében egy kísérleti légcsvár alkalmazásával végeztük el vizsgálatainkat, melyek közül az első az anyagtulajdonságok számítási eredményekre gyakorolt hatásának összevetése volt. Az első esetben figyelembe vettük a hőmérséklet és a sűrűség változását, ellenben a második esetben eltekintettünk ezektől. A következő scenárióként eltérő geometriai diszkretizációk (strukturálatlan - strukturált) közötti összehasonlító vizsgálatot végeztünk el. Utoljára egy hálóméret érzékenység vizsgálatot tűztünk ki feladatul. E két utóbbi eset kapcsán olyan információk birtokában jutunk, amelyek megmutatják, hogy a háló ez irányú tulajdonságai milyen mértékben gyakorolnak hatást az analízis eredményére. A számítási eredmények kiértékelését egy előre felvett síkban és egy ezen fekvő egyenes mentén végeztük el. Az analízisek eredményei minden esetben az elvárásainknak megfelelően alakultak. Az anyagmodellek összehasonlítását követően arra következtetésre jutottunk, hogy egy hasonló peremfeltétel-rendszerű szimuláció esetén érdemes a változó paraméterek számát csökkenteni, mivel így csökkenthető az iteratív eljárás számítási ideje is. A háló-típus és -méret érzékenység vizsgálatok eredményei megmutatták, hogy a határréteg kellő felbontottságának köszönhetően elhanyagolhatóan kis különbség alakult ki eltérő elemszámok esetén. A különféle közelítések kvantitatív összehasonlításának érdekében meghatároztunk egy átlagos kumulatív hibát, amelyben egy előre meghatározott, ún. alapmodell eredményeihez hasonlítottuk a különböző konfigurációk eredményeit. A hibaszázalék értéke kisebb, mint 0,2%, ami a nume-

rikus szimulációk hibahatárán belüli nagyságrendű. További összehasonlító elemzéseket lenne célszerű végezni a numerikus módszerek, különösen a turbulencia modellek és paramétereik hatásának vizsgálata érdekében. A számítási eredmények pontosságát, lehetőség szerint, mérési eredmények felhasználásával lenne legfontosabb alátámasztani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BENEDA KÁROLY – DR. SIMONGÁTI GYŐZŐ - DR. VERESS ÁRPÁD: Járművek hő- és áramlástechnikai berendezései I., Typotex Kiadó, 2012, ISBN 978-963-279-639-0, url: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/0018_Jarmuvek_ho-es_aramlastechnikai_berendezesei_1/adatok.html, (2014.03.04.)
- [2] S. IVANELL - R. MIKKELSEN - J. N. SØRENSEN-D. HENNINGSON: Three dimensional actuator disc modelling of wind farm wake interaction url:http://www.windsim.com/documentation/papers_presentations/0806_tonsberg/WindSim_User_Meeting_0806_Ivanell.pdf, (2014.03.04.)
- [3] GIORGIO CRASTO – FRANCESCO CASTELLANI - ARNE REIDAR GRAVDAHL- EMANUELE PICCIONI: Offshore wind power prediction through CFD simulation and the actuator disc model, url: http://www.windsim.com/documentation/EWEA_pres_2011/Actuator%20disc%20model%20.pdf, (2014.03.04.)
- [4] ADAM DZIUBINSKI – WIENCZYSLAW STALEWSKI: Vortex ring state simulation using actuator disc, url: http://www.scs-europe.net/conf/ecms2007/ecms2007-cd/ecms2007/ecms2007%20pdf/ese_0121.pdf, (2014.03.04.)
- [5] L. P. RUIZ-CALAVERA - D. PERDONES-DIAZ: CFD based aeroelastic calculation of propeller loads, url: http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/493.PDF, (2014.03.04.)
- [6] A. GIAUQUE - B. ORTUN - B. RODRIGUEZ - B. CARUELLE: Numerical error analysis with application to transonic propeller aero acoustics, url:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045793012002903>, (2014.03.04.)
- [7] DIETER SCHWAMBORN - THOMAS GERHOLD - RALF HEINRICH: The DLR TAU-code: Recent applications in research and industry, url: <http://proceedings.fyper.com/eccomascfd2006/documents/619.pdf>, (2014.03.04.)
- [8] N. KROLL - C.C. ROSSOW - D. SCHWAMBORN - K. BECKER - G. HELLER: Megaflow – A numerical flow simulation tool for transport aircraft design, url:http://icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2002/PAPERS/1105.PDF, (2014.03.04)
- [9] YUTONG LIU - KEREM PEKKAN - S. CASEY JONES - AJIT P. YOGANATHAN: The Effects of Different Mesh Generation Methods on Computational Fluid Dynamic Analysis and Power Loss Assessment in Total Cavopulmonary Connection, url: <http://www.cmu.edu/biofluids/papers/yutong.pdf>, (2014.03.04)
- [10] MICHELE GAFFURI - JOËL BREZILLON: Unstructured mesh capabilities for supersonic wing design at low speed conditions, url: http://www.researchgate.net/profile/Joel_Brezillon/publication/225022806_Unstructured_mesh_capabilities_for_supersonic_wingdesign_at_low_speed_conditions/file/72e7e51ab6fc221f19.pdf, (2014.03.04)
- [11] E.C.R. VAN BERKEL - M. KOTSONIS - L.L.M. VELDHUIS: Influence of Non-Uniform Inflow Conditions on Propeller Performance in Tractor Configuration, Results of the first test campaign, Technical Report, 2012
- [12] ANSYS WORKBENCH 13 HELP
- [13] DR. MARK TAYLOR: Open Rotor Engine Design and Validation url:[http://aerosociety.com/Assets/Docs/Greener%20by%20Design/\(6\)%20Mark%20Taylor.pdf](http://aerosociety.com/Assets/Docs/Greener%20by%20Design/(6)%20Mark%20Taylor.pdf), (2013.09.01.)
- [14] Introduction to ANSYS CFX, Lecture 07 - Turbulence, CFX-Intro_14.0_L07_Turbulence.pdf, (2013.09.01.)
- [15] JÓZSEF ROHÁCS - DÁNIEL ROHÁCS: The Potential Application Method of Magnetic Levitation Technology – as a Ground-Based Power – to Assist the Aircraft Take-Off and Landing Processes, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 86:(3) pp. 1-17. 2014
- [16] BALÁZS GÁTI: Investigation of Flying Wing With Significant Deformation, 60 éves a Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar. Budapest, Magyarország, 2011.10.20. Budapest: BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, pp. 1-9. Paper 1. ISBN: 978-963-313-040-7
- [17] KÁROLY BENEDA - JÓZSEF ROHÁCS: Dynamic Model of Variable Inducer Shroud Bleed for Centrifugal Compressor Surge Suppression, International Review of Aerospace Engineering 6: (3) pp. 163-173. Paper online, 2013

Józan Nándor¹ – Palik Mátyás²

RÁDIÓKOMMUNIKÁCIÓS ELJÁRÁSOK GYAKORLÁSÁRA SZOLGÁLÓ MULTIMÉDIA ALAPÚ OKTATÓCSOMAG³

Mai társadalmunk egyik legfontosabb eleme a multimédia és annak felhasználása. Az ezredfordulót követően egyre több területen kezdték alkalmazni az elektronikus ismertterjesztést, legyen annak oktatási, munkaiügyi vagy szórakoztatási célja. A multimédia segítséget nyújt az ismeretek átadásában és a tanulásában. Fontos életünkben, ugyanis egyesíti az írott szöveget az audio- és vizuális eszközökkel, animációkkal, magyarázatokkal. Könnyebbé teszi a megértést a felhasználó számára.

APPLIED EVALUATION SYSTEM IN INTERCEPT CONTROLLER CANDIDATE TRAINING

One of the most important element of today's society is the multimedia and its application. After the millennium the electronic education was applied in wider scale for school education, employment or entertainment purposes. The transfer of knowledge to help multimedia and learning. It is important in our lives, because it combines the written text of the audio and Visual Tools, animations, with explanations. It makes it easier for the user to understand.

BEVEZETÉS

Hatalmas különbség, hogy a multimédiás oktatás teljesen szakít az eddigi oktatási módszerekkel, és ez lehetővé teszi az egyén számára, hogy az új ismereteket saját igényei és tempója szerint sajátítsa el. Az oktatásban legtöbbször egy előadás verbálisan, azaz szóban hangzik el, viszont az emberek többsége vizuális típus⁴, így nem mindegy, hogy az előadó milyen típusú oktatási eszközöket használ fel. Egy multimédiás programnak pontosan az a célja, hogy minden érzékszervünkre hasson, elősegítve a könnyebb megértést és gyakorlást.

A multimédia fejlődésének gyökereit egészen visszavezethetjük az 1968 decemberében megrendezett számítástechnikai konferenciára, melynek San Francisco adott otthont. A konferencia fénypontját Douglas Carl Engelbart⁵ és csapat által bemutatott találmányok jelentették. Közülük a legjelentősebb volt; az egér feltalálása, a hiperlinkek használata, a közös kollaboráció lehetősége akár több számítógépről, egyazon időpontban. Ezekkel a vívmányokkal lehengerlő sikert arattak a közel 1000 fős szakértőkből álló közönség előtt. A kor e technikai vívmányait

¹ Légiforgalmi irányító hallgató, Nemzeti Közszerződési Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, morpho1991@gmail.com

² Alezredes, tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

³ Lektorálta: ny. ezredes, főiskolai tanár, Nemzeti Közszerződési Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

⁴ Bán Ervin: A videotechnika lehetőségei a nyelvoktatásban, Audiovizuális Közlemények, 1985/5. 260-262. o.

⁵ Douglas Carl Engelbart (1925. – 2013.) amerikai mérnök és feltaláló. Legendás informatikai és internetes szakember, aki az ember és számítógép közötti interakciókra irányuló kutatásaival vált ismertté.

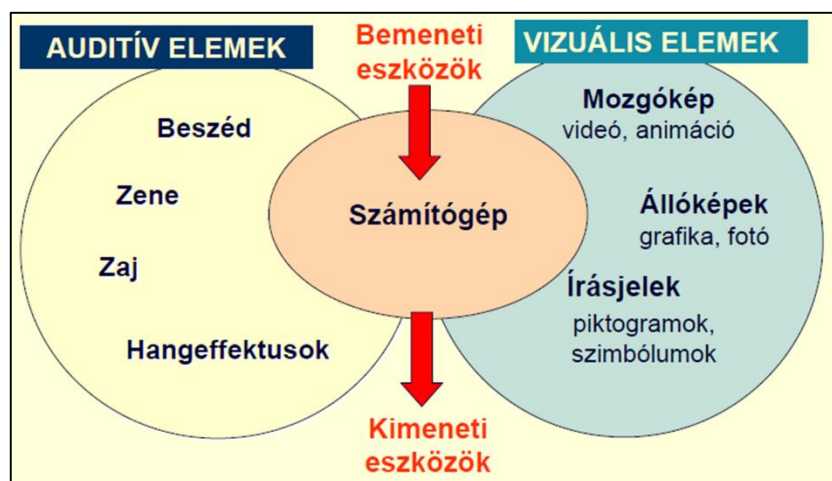
tekinthetjük azoknak az alapoknak, melyek elősegítették a multimédia gyors, de ugyanakkor szemmel látható fejlődését.

Az 1990-es évektől kezdődő új perifériák kifejlesztései lehetővé tették, hogy a személyi számítógépeken is elérhetővé váljanak a digitalizált hang- és mozgókép állományok.

A multimédia gyűjtőnévvel összefoglalt jelenség az információs társadalom egyik nagy lehetőségét jelenti, ezért kiemelkedően fontos az, hogy felhasználjuk azt az oktatásban.

A multimédia kifejezést, mint elnevezést, sokszor használják rendszerek, alkotóelemek, produktumok, ötletek megjelölésére anélkül, hogy tisztába lennének annak jellemzőivel vagy lehetőségeivel. Az információ-technológiában nincs egyhangú megállapodás, mit is neveznek multimédiának, de abban megegyeznek, hogy alapvetően ez a fogalom nem definiálható⁶ egyetemesen.

A gyártók lassan rájöttek arra, hogy rengeteg, még addig fel nem fedezett területen alkalmazhatók a számítógépek, beleértve a digitalizált képeket, video- és hanganyagokat is. Eme globalizációs folyamat eredményeképp a szakemberek egy kulcsszavat kerestek, amely a „multimédia” lett. A multimédia szavunk tükörfordítással annyit jelent, hogy „sok média”. A média szó szerinti fordítása *közeg*, mégpedig olyan közeg, amely információkat továbbít. Ha multimédiáról szeretnénk beszélni, egyértelműen teljesülnie kell, a több médiából álló közegnek, méghozzá úgy, hogy a benne integrált és szinkronizált média eszközei logikusan kiegészítsék egymást.



1. ábra A multimédia elemei⁷

Az említett összefüggések alapján multimédiának nevezünk tehát minden egyes olyan alkalmazást, amely lehetővé teszi több, de legalább kettő, különböző típusú médium egymásba integrálását, azaz kép, audio, szöveg, vizuális tartalom egységesen teremt interaktív tájékozódásra alkalmas „produktumot” (1. ábra).

A multimédia felhasználása

⁶ H. Rügheimer & Ch. Spanik: A multimédia alapjai, Kossuth Kiadó, Budapest, 1997.

⁷ Dr. Bujdosó Gyöngyi: Multimédia alapfogalmak (Előadás), http://www.inf.unideb.hu/~bujdosokurzusok/multimedia/ea/multimedia_B_Alaffogalmak.ppt pp.27.

Mai világunkban a multimédia, mint fogalom igen széles körben jelenik meg. A globalizációnak is köszönhetően, a multimédiás eszközök szinte bárki számára elérhetők, ma már nemcsak híreket olvashatunk multimédiás eszközeinken, hanem használhatjuk azokat tanulásra, oktatásra, kikapcsolódásra vagy munkánk során. Vannak olyan emberek, akik az olvasott szöveget, és vannak olyanok, akik inkább a képeket, ábrákat részesítik előnyben, s az így szerzett információkat könnyebben megjegyezhetőnek tartják. Rengeteg ember létezik, akik a hangokkal, főként a beszéddel közvetített ismereteket képesek egyszerűbben memorizálni. A legtöbb ember számára a leghatékonyabb módszer az, ha az információkat egyszerre több érzékszerv „csatornáján” kapják. Ez az a behozhatatlan előny, amiben a multimédia utolérhetetlen. A multimédia elemei különböző hatással vannak az emberekre, a hatásukat más- és másféleképpen fejtik ki speciális jellemzőik révén (2. ábra).



2. ábra A multimédia elemei⁸

Arra a kérdésre, hogy a multimédia hogyan újítja meg a tanulást, leginkább a számítógépes oktatóprogramok- azon belül is a nyelvoktatók - adják a legjobb választ. Például az ilyen típusú alkalmazásoknál a szoftver mutat egy új szót, megadja hozzá a helyes jelentését illetve kiejtést, és mindezt addig ismétli, amennyiszer a felhasználó kéri. A kiemelt szavak jelentését és nyelvi beilleszkedését képekkel, hangokkal, kisebb animációkkal párosítja, ezzel is segítve az új ismeretanyag tanulási hatékonyságát. Az oktatóprogramok alapvető funkciója a számonkérési menüpont vagy vizsgáztató mód, ahol a lehetőség van az addig megszerzett ismeretek ellenőrzésére.

Fontos a megfelelő anyagi háttér, mivel ezek a technikák – legyenek azok multimédiás táblák, projektorok, számítógépek vagy egyéb eszközök – rengeteg erőforrást emésztnek fel egy adott intézményen belül. Szerencsére egyre több helyen használják ki a multimédia adta lehetőségeket, jellemző példa erre a felsőoktatás területén évek óta fokozatosan zajló távoktatási fejlesztések sorozata. Az ezredfordulót követően szinte már mindenki otthonában megjelentek a multimédia alapú eszközök, hiszen manapság mindenhol található TV készülék és egyéb, információ forrásként alkalmazott elektronikai cikkek. A legismertebb és legelterjedtebb ilyen eszköz a számítógép. Felhasználásának tárháza szinte kifogyhatatlan, teljes mértékben a felhasználó

⁸ Dr. Bujdosó Gyöngyi: i.m. pp.28.

fantáziáján és kvalitásán múlik. Manapság az üzleti szektorból sem elhanyagolható a multimédia, sőt, a világon számos cég már rájött arra, hogy a legkönnyebben a multimédia felhasználásával érheti el ügyfeleit. Ezeknek a vállalatoknak a többsége multimédiás alkalmazásokat használ munkájuk során, ezzel is emelve termékeik – legyen az szellemi vagy fizikai – minőségének színvonalát.

Az egyik szignifikáns terület, ahol a multimédia talán a legjobban érvényesül, az az Internet. Manapság alig van olyan weboldal, ahol ne lennének reklámok, animációk, hanganyagok, online katalógusok vagy egyéb bemutatók. A 2000-es évektől rohamosan fejlődésnek indult a banki szektor, azon belül annak is az elektronikus szolgáltatási rendszere. A pénzügyintézetek napi szintű internetes szolgáltatásai mellett mára az elektronikus áruházak is megtalálhatók, ahol akár pár perc alatt lebonyolíthatunk egy vásárlást, a termék kiválasztásától a fizetésig. A világon már elterjedtek az úgynevezett információs terminálok, melyek a nap 24 órájában friss és pontos adattal szolgálnak a felhasználó számára, továbbá interaktív reklámokra és promóciókra is bukkanhatunk, ha nyitott szemmel járunk.

AZ INTERAKTÍV TANULÁS

Az interaktív tanulási forma nagymértékben eltér a hagyományos tanulási módszerektől. Minőségi szempontból nagymértékben javul, egészen új lehetőségek nyílnak meg az interaktivitás felhasználásával. Az interaktív oktatóprogramok a tanuló aktivitására támaszkodva vezetnek be az egyéni adottságok megismerésébe, megtanulásába. A programok a felhasználó saját kezébe adják – el is várják – a tanulási procedúra szabályozását, folyamatos irányítását. A multimédia technika különösen alkalmas az aktív tudáselsajátítást megkönnyítő, ún. kognitív médiák kifejlesztésére. A kognitív médiák lehetővé teszik, sőt elősegítik az oktatás fejlődését a hagyományos iskolai módszerektől, a tudás megszerzésének új formája felé.

Az elektronikus tanulásban az önálló tanulás válik a legfontosabb szerepkör, melyben a tanár legfontosabb feladata az lesz, hogy a tananyagot úgy tervezze meg, hogy alkalmas legyen akár a tanórán kívüli autonóm elsajátításra is [2].

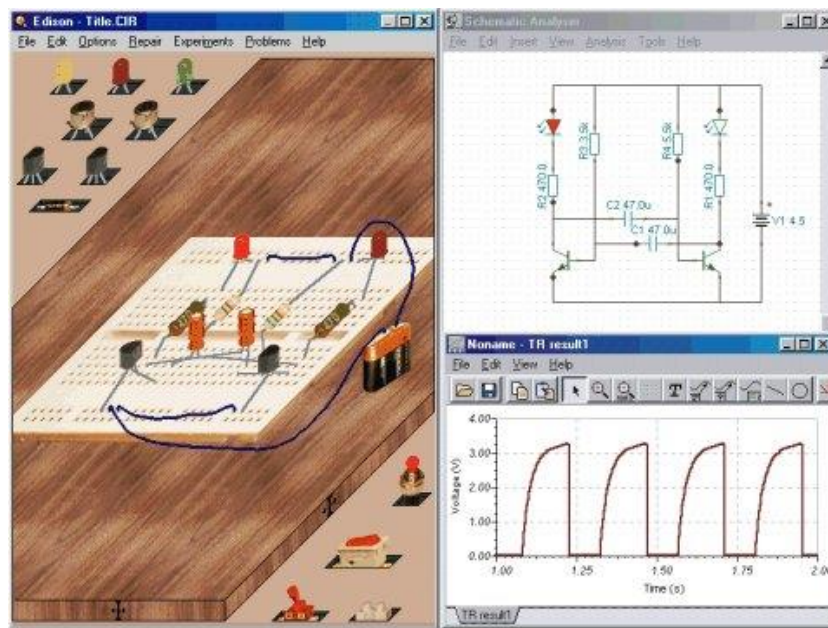
A tanítási-tanulási folyamatban kész tudásanyag átadása-átvétele történik, a tanár az aktív közvetítő, a tanuló passzív, befogadó fél, az instrukció a kész tudásanyag átadására-átvételére vonatkozik, a tanulási környezet kialakítása is ennek megfelelően történik. Ebben a modellben a részfolyamatok közül a tanítási szegmens a meghatározó, amely során a meglévő ismeretanyag átadása történik. A középpontban az oktató van, aki átadja a tananyagot és erre elsősorban szóban történő és szemléltető módszereket használ. A folyamat passzív résztvevője a tanuló. Ha a tanár szemszögéből nézzük a folyamatot, akkor az jól kontrollálható, viszont a tanulói kreativitás fejlődéséhez kevésbé járul hozzá.

Komenczi Bertalan „On-line. Az információs társadalom és az oktatás” című munkájában ún. "új tanulás" oktatásfilozófiai modellel találkozunk, melyet igen jól ír le és szemléltet a szerző⁹.

⁹ Komenczi Bertalan: On-line. Az információs társadalom és az oktatás. Megjelent: Új Pedagógiai Szemle. 1997/07-08. sz. 74-96. o.

A tanítási-tanulási folyamatban felcserélődtek a szereplők funkciói, a tanári instrukció és a tanulási környezet arra a célra szolgál, hogy a tanuló képes legyen az új ismeretanyagokat és meglévő tudását gyarapítani illetve fejleszteni, mindezt a multimédia segítségével [3].

Ez az új módszer szakít a már bemutatott hagyományos tanítási-tanulási formával, a tanulási részfolyamat rendelkezik kiemelt jelentőséggel, melynek során a tanuló aktív szereplője lesz. Ebben az esetben a tanár csak a passzív résztvevő személye a módszernek, ugyanakkor ő is fontos pozíciót tölt be. A tanár az, aki fenntartja és előteremt a tanulási környezetet, mindemellett magyaráz diákjainak, és jelenlétének ösztönzően kell hatni a tanítás során. Reaktív szerep alatt azt értem, hogy az eseményeket, a tanulási procedúrát a háttérből irányítja.



3. ábra EDISON oktató szoftvee, egy multimédiás, virtuális kísérleti laboratórium¹⁰

A multimédia alapú programok azért is bírnak ekkora erővel, mert a felhasználó saját maga tud dönteni a tananyag megismerésének menetéről, sebességéről, ha netán, ismétlésre van szüksége, bármikor megteheti azt. Kedve szerint eltérhet a tananyag ütemétől, akár át is ugorva olyan részeket, melyeket már elsajátított.¹¹

A multimédia alapú oktatórendszerek

Egy multimédia alapú oktatóprogram kifejlesztésénél a legfontosabb és egyben a legidőigényesebb fázis a felhasználói felület megtervezése. Fontos szempont volt, hogy a program minden részlete, funkciója, amennyire csak lehet, felhasználóbarát legyen. A tervezésnél az alábbi szempontok lettek figyelembe véve és alkalmazva:

- egyszerűség, és átláthatóság. A cél egy letisztult felhasználói felület, melyen könnyű navigálni egyes menüpontok, oktatási anyagok között. A legkönnyebben ez úgy érhető

¹⁰ Forrás: https://lh6.googleusercontent.com/-_9HXbz2qOis/T37LnjfhFsI/AAAAAAAAACEk/4-7btZDLCdc/s480/19883431252.jpg

¹¹ Komenczi Bertalan: Orbis sensualium pictus (Multimédia az iskolában) Megjelent: Iskolakultúra, 1997/1. sz. Melléklet. M1-M16.

el, hogy próbáljuk elkerülni a szélsőséges (extravagáns) grafikus elemeket és törekedni kell a menüpontok átgondolt, rendezett elhelyezésére. Igyekezni kell a felbontást valamilyen a színeket minél harmonikusabban összehangolni. Főleg azért, mert ezekkel az elemekkel találkozik először a felhasználó;

- interakció alkalmazása. Egy ilyen típusú oktató szoftver készítésénél nagy hangsúlyt kell fektetni az interaktív menüpontok létrehozására is. Az interakció segíti a tanulást, könnyebb-nehezebb feladatokkal színesíti a tanulás folyamatát. A legfontosabb előnye: a számítógép és felhasználó között folyamatos „párbeszédet” biztosít;
- naprakész információk feldolgozása és frissítése. Egy másik fontos szegmense az ilyen típusú szoftvereknek, azon információk adatbázisa, melyet felhasználunk az oktatás során. Erre való tekintettel meg kell bizonyosodni arról, hogy a program mindig a legfrissebb oktatási anyaggal rendelkezik. A program tervezésénél, nagy figyelmet kaptak az aktuális katonai kifejezések és eljárások feldolgozása a lehető legjobb tanulás érdekében.

TUTOR-O-MATIC KERETRENDSZER

Egy-egy tudományterület oktatása közben gyakran felmerül az igény, hogy az adott területhez kapcsolódóan egyedi, multimédiás eszközöket használjunk, segítve az önálló tanulást és/vagy az ismeretterjesztést. Ennek megvalósítására két lehetőség kínálkozik: nagy költséggel elkészítettünk egy egyedi programot, ami az adott területet mutatja be, vagy valamilyen keretrendszerrel használva magunk készítjük el. Sajnos ezek a keretrendszerek általában önmagukban sem olcsók és gyakran, a nehéz használat mellett, csak egy adott operáció rendszeren használhatóak.

Az univerzális megoldások általában web alapúak, hiszen az szinte mindegyik rendszeren elérhető és platform független. Egyetlen hátránya, hogy élő internetkapcsolatot kíván, bár bizonyos operációs rendszerek esetén (Windowsok, Unix rendszerek) a sajátgépen is futtathatók. Ezen felül további kritérium, hogy a megoldás ne legyen bonyolult, a lehetőségekhez képest könnyen használható legyen.

Emiatt a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszékén kifejlesztésre került egy web alapú megoldás, melynek a neve „*Tutor-O-Matic*” lett. A rendszer oktatócsomagok közvetítésére alkalmas, amely a számítógépek böngészőjén kívül tabletekre és mobiltelefonokra is optimalizálva van. Az alkalmazás viszonylag egyszerű script nyelvet használ, a használata a tanszéken dolgozó oktatók és az itt tanuló diákok számára ingyenes. A keretrendszer jelenleg is folyamatos fejlesztés alatt áll.

Az Rádió-távbeszélői kezelői ismeretek tanítása

Mint az bizonyára sokak előtt ismeretes a repülés nyelve az angol. Azt viszont már kevesebben tudják, hogy a pilóták egymással valamint a légiforgalmi irányítókkal egy speciális nyelvet, a rádió-távbeszélő kifejezéseket, a fóniát használják, mely az angol radiotelephony szóból származik.

Ennek az angoltól alkotott közel ezer szavas speciális szaknyelvnek a lényegét és a fontosságát a kommunikáció lerövidítésére való törekvés adja. Az intenzív légiforgalomban – és az ahhoz kapcsolódó nagyszámú kommunikáció miatt – nincs elegendő idő arra, hogy hosszú mondatok-

ban fejezzék ki mondanivalójukat a résztvevők. Ezen kívül kiemelten kell ügyelni a félreérthetőség elkerülésére, hiszen azok miatt könnyen, akár katasztrófa is bekövetkezhet. A fónia egy gyakorlatias és egységes szaknyelv, és bár az alapja az angol, de ez nem jelenti azt, hogy aki tud angolul, az tud „fóniául” is. A nyelv a légiközlekedés kommunikációjában leggyakrabban használt fogalmakat, speciális (műszaki, meteorológiai stb.) kifejezéseket és rövidítéseket valamint fogalmazásbeli megkötéseket tartalmazó leírónyelv, melynek használata szigorúan szabályozott.

A Katonai Repülő Tanszéken folyó repülésirányító¹² jelöltek számára a „Rádiótávbeszélő-kezelői ismeretek” című tantárgy a differenciált szakmai törzsanyagba tartozik. Oktatási módszereiben – elsősorban a fónia szabályainak elsajátításakor – a frontális osztálymunka, mint módszer a használatos és a célravezető. A továbbiakban a speciális kifejezések elsajátítása után az eljárásokhoz kötődő, a hallgatók aktív közreműködését igénylő interaktív, szimulációkkal történik az egyes repülési/irányítási folyamatokban a nyelv használatának begyakorlása. Az oktatáshoz kifejezetten sok hanganyag is rendelkezésre áll, melyek azonban jórészt a polgári irányítás specialitásait követik, így a katonai szituációkhoz csak részben használhatók.

Felmerült az igény egy a katonai légiforgalmi irányításban használt – a polgáritól némileg eltérő – rádió-távbeszélő kifejezések gyakorlásához alkalmas oktatóprogramra, mely a fónia alapjainak (kifejezések, szabályok, eljárások) elsajátítása után, a hallgatók akár önállóan, saját ütemben használhatják ismereteik bővítésére.

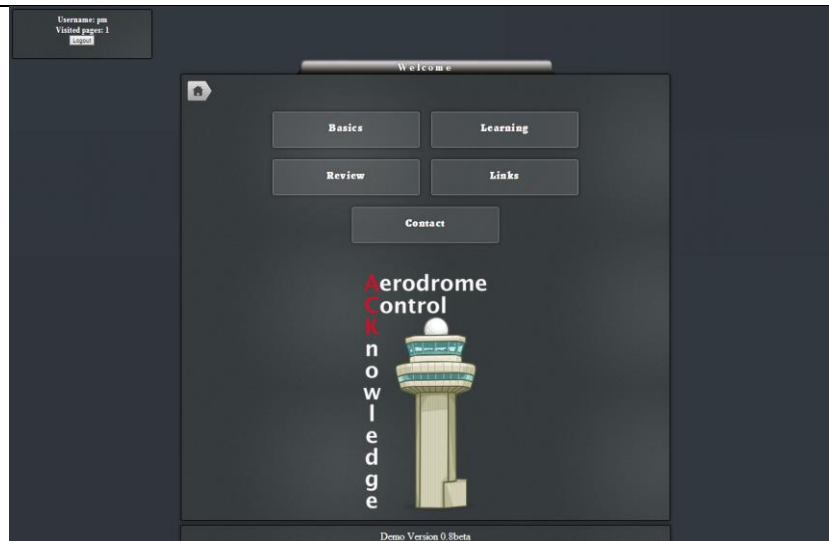
Az „ACKnowledge” program

Az ötletgyűjtés közben mindig törekedtünk olyan nevet megalkotni, ami önmagában is tükrözi a repüléshez való kapcsolódását, de ugyanakkor a szavak játékaival létrehozható legyen belőle egy értelmes szókapcsolat. Az alkalmazás neve egy angol kifejezés, az „ACKnowledge”, amely magyarul nyugtázom/nyugtázza fónia kifejezést takar. A szavak és betűk játékaiból kirakható egy szókapcsolat, az „Aerodrome Control Knowledge” is, mely nem mást jelent, mint „Repülőtéri Irányítói Tudás”.

Az oktatóprogramban egyrészt a Magyar Honvédség „Rádiótávbeszélő kifejezések és szabályok a katonai repülésben” című kiadványának, másrészt a Rádió-távbeszélő kezelői ismeretek tantárgy során már feldolgozott példákat vettük alapul.

A program megtervezésekor, fontos szempont volt az összegyűjtött adatok megfelelő módon történő logikus elrendezése. Mivel a légiforgalmi irányítói pozíció nem egy hétköznapi munkakör, így az ott jelenlévő és nap, mint nap felhasznált ismeretanyag is jóval összetettebb, komplikáltabb az átlagosnál. Az ismereteket igyekeztünk rendszerbe foglalni, hogy az minél könnyebben megérthető és átlátható legyen a felhasználó számára.

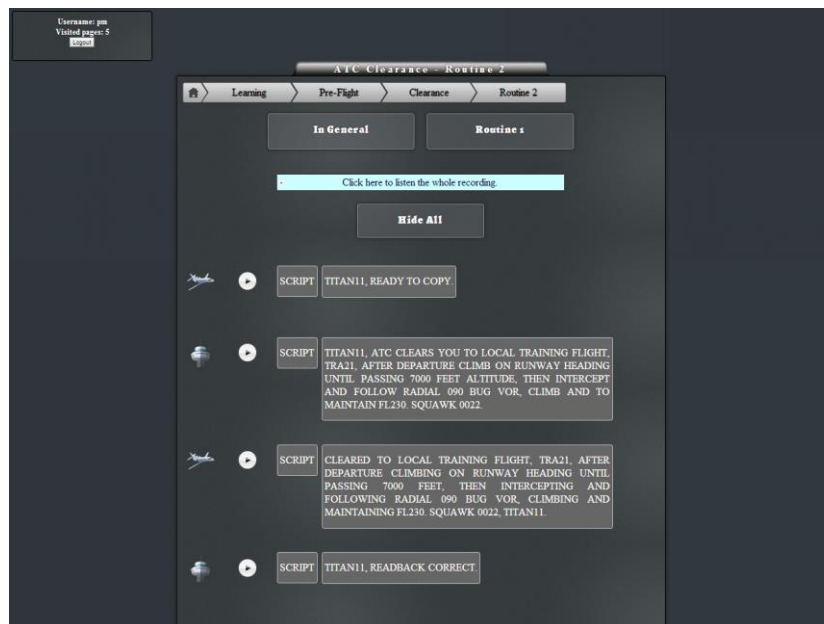
¹² Gyűjtőfogalom, amely jelenthet katonai légiforgalmi irányító, valamint légvédelmi irányító szolgálatot



4. ábra A program kezdőlapja a főmenükkel¹³

A programban feldolgozásra került ismereteket öt nagyobb csoportba soroltuk be, és ezt követük a tervezés és a megvalósítás során is:

1. Alapvető légiforgalmi irányítói ismeretek, kifejezések.
2. Felszállás előtti kifejezések.
3. Felszálláskor használatos kifejezések.
4. Leszállás és az azt követő kifejezések.
5. Vészhelyzetek és azok kezelése.



5. ábra A program egy menüjének képe

Mivel a főnia alapvető nyelve az angol, a program elkészítésénél is az volt a cél, hogy a lehető legnagyobb mértékben az ismeretanyag is ezen a nyelven legyen közvetítve.

¹³ www.acknowledge.szrf.hu



Ez többek között ez azért is fontos volt, mert így a felhasználók rá vannak „szorítva” egy idegen nyelv alkalmazására, melynek ismerete a mindennapi munkájuk során elengedhetetlen. Az applikáció ugyan tartalmaz magyar kifejezéseket is, de azokat csupán a műszaki illetve a meteorológiai kifejezések oktatásánál használtuk fel.

BEFEJEZÉS

Az elkészült fejlesztés segíti és tanítja felhasználóját a légiforgalmi irányítói eljárások alatt használt szabvány rádió- és távbeszélő ismeretek és kifejezések elsajátításában. Az alkalmazás számos területen felhasználható, kezdve az elméleti képzéstől, egészen az aktív szolgálatot teljesítő légiforgalmi irányítók tudásának szinten tartásáig. Természetesen léteznek hasonló programok, de a maga nemében mégis valami újat képvisel az ACKnowledge. A fejlesztések folyamatosak, számos új funkciók és elképzelések várhatók implementálásra.

Jelenleg is folyik a programban feldolgozott kifejezések adatbázisának bővítése, új gyakorlatok tervezése, az oktatást segítő és szemléltető eszközök, funkciók kifejlesztése. Bízom abban, hogy az alkalmazásom idővel szerepet kaphat a leendő légiforgalmi irányítók képzésében, ezzel a lehetőséggel is hozzájárulva az oktatás magasabb szintjéhez, amelyet a multimédia képvisel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Békési László: A helikopter aerodinamikájának oktatási lehetőségei multimédia segítségével, Repüléstudományi Közlemények 2010. 2. szám, Repüléstudományi Konferencia 2010 különszám, http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2010_cikkek/Bekesi_Laszlo.pdf
- [2] Forgó Sándor: Az új média és az elektronikus tanulás, Új Pedagógiai Szemle 59:(8-9) pp. 91-96. (2009)
- [3] Komenczi Bertalan: On-line. Az információs társadalom és az oktatás. Megjelent: Új Pedagógiai Szemle, 1997/7-8. sz.
- [4] Komenczi Bertalan: Orbis sensualium pictus (Multimédia az iskolában), Megjelent: Iskolakultúra című folyóiratban, 1997/1. sz.
- [5] Pedagógiai Lexikon II. I-NY. Keraban Könyvkiadó, Budapest, 1997.
- [6] Wilbur Lang Schramm: Mass media and National Development, Stanford University Press, Stanford, 1964.
- [7] Szegediné Lengyel Piroska: Ötven éves a távoktatás? (Programozott oktatás és e-learning – programozott könyv és e-könyv), Hadmérnök On-line tudományos folyóirat, V. évfolyam, 2. szám, 2010.

Fehér Balázs¹ – Bakó András²

INDULÁSI ELJÁRÁSOK MATEMATIKAI MODELLJÉNEK KIÉRTÉKELÉSI MÓDJAINAK ALAPJAI³

Kutatásaim során az ún. tanuló algoritmusokkal végzett eljárás – optimálással foglalkozom. Ez azt jelenti, hogy egy adott módon legenerálunk megfelelően nagy eljárás-sokaságot, majd bizonyos szempontok alapján változtatunk rajtuk úgy, hogy az alapvető tulajdonságaik (elsősorban akadálymentesség) ne sérüljenek. Ezen publikációmban (felhasználva korábbi eredményeimet) az adott eljárások kiértékelésének lehetséges módjait mutatom be. Emellett a jövőbeni fejlesztési lehetőségeket is összefoglalom.

BASICS OF MATHEMATICAL MODEL OF AIR TRAFFIC DEPARTURE PROCEDURES EVALUATION

My research objectives are the „self-developing” algorithms, and their usage for optimizing instrument procedures. Therefore we generate a sufficient number of procedures, and we change the parameters by different objectives (respecting the basic fundamentals e.g. obstacle clearance). In this paper, I will present (on the basis of my former researches) the possible evaluation methods of given procedures. Besides that, I will give a short brief about the further research opportunities in this application.

BEVEZETÉS

A légiforgalmi eljárások tervezése nagyon sokrétű feladat, és nehezen automatizálható. Problémát jelent, hogy a légi járművek nem csak síkban mozognak, így nem csak a vízszintes, de a megfelelő függőleges elkülönítést is biztosítani kell. Számításba kell venni a tereptárgyaktól való megfelelő távolság biztosítását is, mivel a balesetek elég nagy hányada esik az ún. CFIT kategóriába, ami a Controlled Flight Into Terrain, azaz irányított földnek ütközést jelenti. Ekkor a repülőgép teljesen kormányozható és a balesetet a személyzet idézi elő, a légijármű nem szándékos földnek vezetésével. Ennek egy része a téves helyzetfelismerés (ld. térbeli dezorientáció), másik kisebb része pedig a nem megfelelő eljárásból adódhat. A jelenlegi légi forgalom folyamatosságát is nehéz biztosítani, a fő szabály, hogy a biztonságos elkülönítést (a légijárművek egymástól és a földtől való távolságát) minden esetben biztosítani kell, minden más szempont (kapacitásmenedzsment, környezetvédelem, zajvédelem) csak ez után következik.

Mindazonáltal a repülőterek versenyképességének egyik jelzője az is lehet a közeljövőben, hogy mennyire könnyű az adott repterre érkezni, és arról indulni. Milyen gyakran lehet várakoztatásra (holding) számítani, mennyi résidőt (azaz slotot) lehet kiosztani. A várakoztatás extra üzemanyag-felhasználással jár (mind az indulás, mind az érkezés esetén), ezt a repülés előkészítése és tervezése folyamán számításba kell venni.

¹ Széchenyi István Egyetem – Győr, Közlekedési Tanszék, feherb@sze.hu

² Széchenyi István Egyetem – Győr, Közlekedési Tanszék, bakoa@sze.hu

³ Dr. Palik Máttyás alezredes, tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

Publikációmban felhasználom a korábbi kutatásaim anyagait és alapjait [1], ezek alapján mutatom be az önfejlesztő algoritmusokkal végzett eljárás-fejlesztést, a generált eljárások kiértékelésének módjait.

A területi navigációs eljárások felépítésének ismertetése

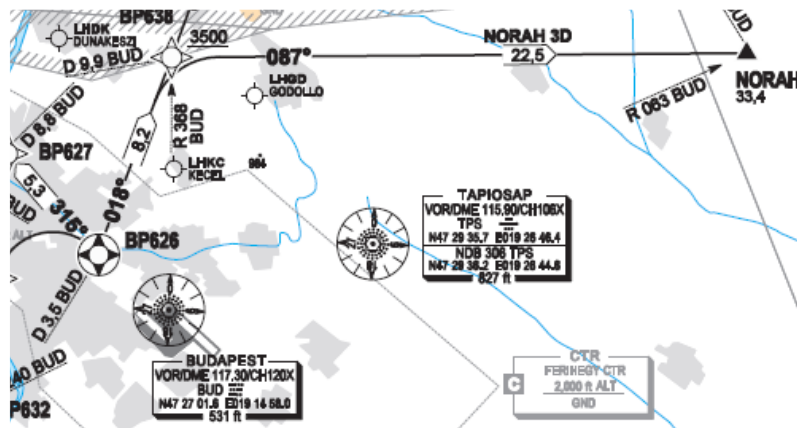
Hogy a téma további részleteit megismerjük, feltétlenül szükséges pár szót ejteni a repülési eljárásokról. Mivel a közforgalmi repülésnek olyankor is folynia kell, amikor a legtöbb magánpilóta szakszolgálati engedéllyel rendelkező ki sem nyitja a hangárajtót, sőt a fel- és leszállások egy része az egyszerű műszeres jogosításhoz képest is alacsonyabb időjárás minimumok mellett történik.

Tehát a közforgalmi repülések túlnyomó része – a megkövetelt tűrések, és az időjárástól való minél jobb függetlenedés miatt – műszerrepülési szabályok (IFR – Instrument Flight Rules) szerint történik, így az eljárásokat is műszerrepülésre építik fel. Az eljárások típusában megkülönböztetünk indulási és érkezési, várakozási eljárásokat. Jelen cikkben (terjedelmi korlátok miatt) az indulási eljárások ismertetését végezzük.

A területi navigáció pedig lehetővé teszi, hogy a repülőgéppel kielégítő pontossággal navigáljunk anélkül, hogy közvetlenül a földi telepítésű berendezés irányába, vagy irányából repülénk. Tehát egy olyan navigációs módszerről van szó, ami lehetővé teszi a repülési útvonal lényegében bárhol történő elhelyezését. Az ismertetett eljárás analízise is területi navigációs eljárás, hiszen nem adóra rárepülés vagy adótól elrepülés történik.

A NORAH 3D Indulási eljárás

Korábbi publikációimban [1],[2] is a NORAH 3D jelű indulási eljárást vizsgáltam, most ennek a vizsgált eljárás matematikai modelljének kiértékelésével foglalkozunk.



1. ábra A NORAH 3D indulási eljárás [6]

A SID⁴ 3,5 mérföldre kezdődik a BUD VOR⁵-tól, a BP626-os útvonalpontonál. Ez az eljárás kiindulópontja. 017°-ra fordulván, a track folytatódik a BP626 pontig. Ez a pont 9,9 NM-re van a BUD VOR-tól, a 356-os radiálon. BP626-nál a track 018°-ra fordul, amíg el nem éri a BP627 pontot, ami 0,2 mérföldre van a BP626-tól, a 356-os radiálon. BP627-nél a track 087°-ra fordul, amíg el nem éri a BP638 pontot, ami 22,5 mérföldre van a BP627-től, a 356-os radiálon. BP638-nál a track 087°-ra fordul, amíg el nem éri a NORAH pontot, ami 33,4 mérföldre van a BUD VOR-tól, a 062-es radiálon.

⁴ SID: Standard Instrument Departure, azaz szabványos műszeres indulási eljárás.

⁵ VOR: VHF Omni-directional range, VHF körsugárzó adó.

Tehát egy hagyományos indulási eljárás a SID, azaz Standard Instrument Departure – azaz szabványos műszeres indulási eljárás, amit lényegében a felszállástól a TMA⁶-ból történő kilépőpont eléréséig tart.

Az indulási eljárásokkal szemben támasztott főbb jellemzők és követelmények [3] és [4] szerint:

- általánosságban, az indulási eljárás azért van, hogy megfelelő akadálymentességet adjon, közvetlenül a felszállás után, amíg a repülőgép el nem ér egy útvonali szegmenst. Az indulási eljárások tartalmazzák, de nem kizárólagosan a szabványos indulási útvonalakat, és a kapcsolódó eljárásokat (az Annex 11, 3-as függeléke alapján);
- az indulási eljárást légiforgalmi irányítás céljából, légtér menedzsment (forgalom szervezés) céljából, vagy egyéb okokból (például zajcsökkentés) követelik meg, és az indulási útvonalat nem kizárólag az akadálymentességi követelmények szabják meg;
- a doc. 8168 szerint az indulási eljárásokat az üzemeltetők, az ATC, és egyéb résztvevők folyamatos konzultációjával kell fejleszteni;
- gazdaságosság: minden kísérletnek, amit a gazdaságosság érdekében tesznek, hogy minimalizálva legyen az indulási eljárás végrehajtási ideje, és az igénybe vett légtér mérete, arra kell irányulnia, hogy a tervezett eljárások össze legyenek egyeztetve a biztonsági követelményekkel;
- az indulási eljárásokat vagy megadott útvonalakként, vagy irányítatlan indulási eljárás-ként (ld. doc. 8168, első rész, harmadik szakasz, negyedik fejezet – „Omnidirectional departures”) publikálják;
- a fordulókhöz hozzárendelt akadálymentességi területek tervezésekor a doc. 8168 2. szakaszának 3. fejezetét „Forduló-területek felépítése” célszerű alkalmazni. A rádiónavigációs adók karakterisztikája, és a fixek tűrései a doc 8168 2. szakaszának 2. fejezetében találhatóak.

Természetesen mindez, ami fel van sorolva, nem kötelezően betartandó előírás, hiszen az ICAO PANS⁷ betartása nem kötelező, de célszerű, hogy bármely repülőtérrre elkészített eljárások a világ bármely részéből érkező/induló hajózószemélyzet számára ugyanazt jelentsék.

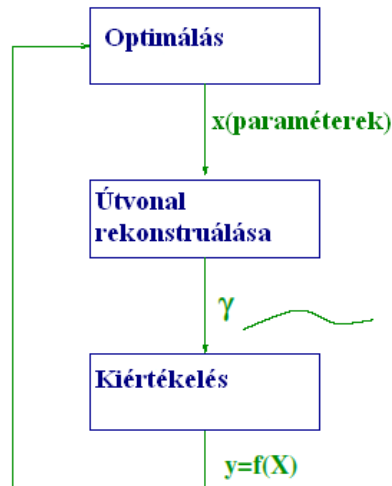
Ideális esetben egy SID geometriailag úgy néz ki, hogy a légi jármű felszállás után egyenes szakaszon haladjon a kilépőpont irányába, illetve legfeljebb egy töréspont legyen az útvonalán, ahol fordulót kell végrehajtania. Az első waypointnak célszerűen 3–5 NM-ön belül kell lennie, a pályaküszöbötől mérve, illetve a kilépőpont felé vezető fordulót is tekinthetjük annak, ekkor a fordulót 3–5 NM-re kell a pályaküszöbötől elhelyezni.

Az indulási eljárások vizsgálata

Az indulási eljárásokat rekurzív elven vizsgáljuk, az alábbiak szerint:

⁶ TMA: Terminal Maneuvering Area, a repülőtérről körüli

⁷ ICAO PANS: a nemzetközi polgári repülési szervezet (ICAO) 8168. számú kézikönyve, a léginavigációs szolgálatok eljárásait tartalmazza. (Procedures for Air Navigation Services) [4]

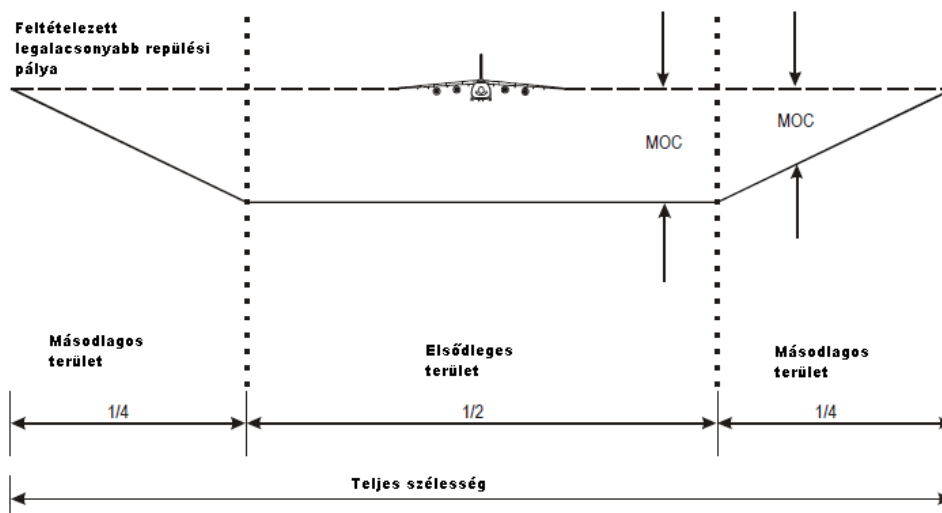


2. ábra Egy adott útvonal optimalizálásának lépései [12] nyomán

A lépéseknél fontos megjegyezni, hogy a tulajdonképpeni tervezés a legelső lépéssel kezdődik, miszerint adott szempontok alapján kiértékeljük az eljárást. A mindenkor legfontosabb szempont, hogy az akadálymentesség biztosítva legyen. Az önfejlesztő algoritmus változtat az adott paramétereken, hogy az útvonal pl. Az optimált eljárás kipróbálása után a visszajelzések, ill. adatrögzítő eszközök segítségével kinyert repülési pályaadatok alapján rekonstruáljuk a berepült útvonalat. Ez alapján meg tudjuk határozni a fejlesztendő paramétereket.

Korlátozó feltétel – az akadálymentesség

Az akadálymentesség biztosításához a doc 8168 alábbi ábráját célszerű elemezni:



3. ábra Akadálymentességi területek

Minden szegmensnek van egy megfelelően hozzárendelt területe, védett légtere, ahogy a fenti ábra is mutatja. Rendszerint az útvonal mindkét oldalán szimmetrikus a védett terület. Megkülönböztetünk elsődleges és másodlagos területeket, azonban sok esetben csak az elsődleges területek használata engedélyezett. Ahol vannak másodlagos védett területek, minden oldal külső része (névlegesen a teljes szélesség 25 százaléka) számít a másodlagos területekhez.



Egy adott „p” pont másodlagos védett légtereit két fix között lineáris interpolációval (egyenes arányosság) lehet meghatározni, az adott fixek szélességéből az alábbi formula alapján:

$$W_{sp} = W_{s1} + \frac{D_p}{L} (W_{s2} - W_{s1})$$

ahol:

- W_{sp} - a másodlagos terület szélessége „p” pontnál
- W_{s1} - a másodlagos terület szélessége az első fixnél
- W_{s2} - a másodlagos terület szélessége a második fixnél
- D_p - „p” pontnak az első fixtől mért távolsága a névleges pályán mérve
- L - a két fix távolsága a névleges tracken mérve.

A másodlagos légterek MOC ⁸(Minimum Obstacle Clearance) értékét a teljes MOC értékből egyenes arányossággal kapjuk meg, az alábbi formula szerint:

$$MOC_{sy} = MOC_p \cdot \left(1 - \frac{Y}{W_s}\right)$$

ahol:

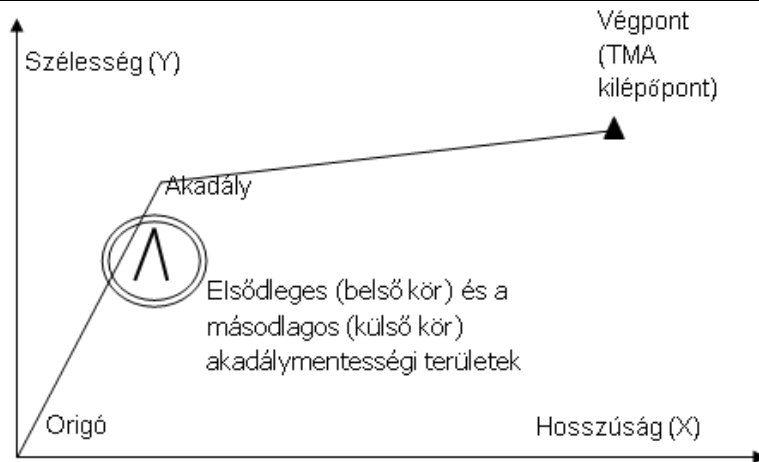
- MOC_p - az elsődleges terület MOC értéke
- MOC_{sy} - a másodlagos terület MOC értéke
- W_s - a másodlagos terület szélessége
- Y - távolság az akadálytól – az elsődleges terület szélére a névleges pályától bocsátott merőlegessel mérve

Megjegyzés: a doc. 8168-ban található összes számítás és táblázat NEL⁹ szerint értendő, 2000 feettel tengerszint felett, és +15°C-os hőmérséklet esetére.

Ha egy algoritmussal generálunk eljárásokat, célszerű az akadálymentességi vizsgálatot „megfordítani”, ahogy [1]-nél is ismertetésre került. Tehát az akadály körzetét kell vizsgálni, hogy a generált track „belelóg”-e az elsődleges, ill. másodlagos síkokba. Ha a generált track metszi mindkét kört, az eljárás nem biztonságos. Ha csak két metszéspontunk van (a külső körben) a track a másodlagos területen halad át. Ha ez a helyzet, az eljárás tovább vizsgálható, mivel a másodlagos terület limitjei lineárisan csökkennek.

⁸ MOC: Minimum Obstacle Clearance, azaz minimális akadályoktól való távolság.

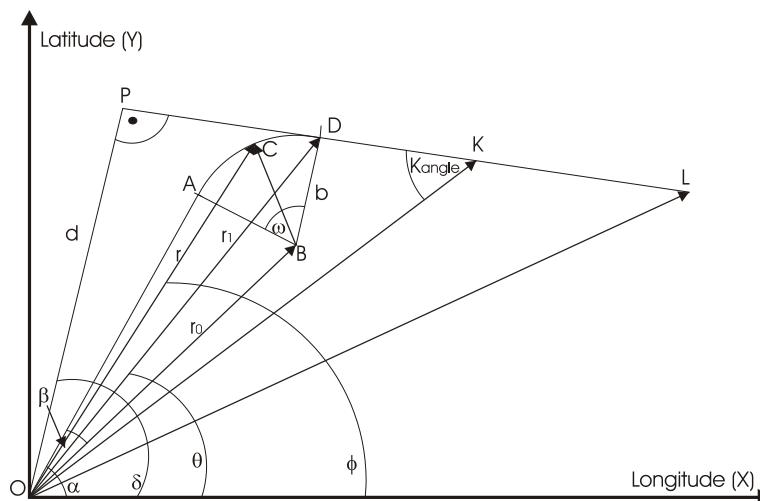
⁹ NEL: Nemzetközi Egyezményes Légkör, a szakirodalom ISA-ként (International Standard Atmosphere) is hivatkozik rá. Egységes ún. múltévkör, az alábbi feltételekkel: teljesen száraz, tengerszinten 1013,25 hPa légnyomás, 15 °C hőmérséklet és a gradiens 2 °C 1000 lábanként.



3. ábra A modell egyszerűsítése

Az egyszerűsített modell ismertetése

Hogy tisztában lehessünk a modell kiértékelésével, az alábbiakban az egyszerűsített eljárás-vizsgálati matematikai modellt ismertetjük.



4. ábra A modell egyszerűsítése, forrás: [1]

Egy polárkoordinátás rendszerben a kört (r, φ) ismeretében az alábbi formában írhatjuk fel:

$$r^2 - 2rr_0 \cos(\varphi - \alpha) + r_0^2 = a^2, \quad (1)$$

ahol r_0 a középpont első koordinátája $(\alpha - \beta)$ így $\alpha - \arctan \frac{b}{a}$ a kör sugara. Így az egyenlet B középponttal és b sugárral, ha $r > a$,

$$r^2 - 2r\sqrt{a^2 + b^2} \cos\left(\varphi - \left(\alpha - \arctan \frac{b}{a}\right)\right) + (a^2 + b^2) = b^2 \quad (2)$$

r_1 általában $r_0 + b$, mivel nem lehet nagyobb a sugárnál:

$$r_1 = r_0 + b (< r_0 + b) \quad (3)$$

Az egyenes szakasznál $\tan \alpha$, és A pont adott. Az OBC koszinusz tételt alkalmazva, hogy megkapjuk r_1 -et, ami a forduló végpontja:

$$b^2 = r_0^2 + r_1^2 - 2r_0r_1 \cos \delta \quad (4)$$

$$r_1^2 - 2r_0r_1 \cos \delta + r_0^2 - b^2 = 0 \quad (5)$$

Kör egyenlete, egy érintőre $\theta = \varphi$ az alábbi $(r_0; \varphi)$ érintési pontban:

$$r(\theta) = r_0 \sec(\theta - \varphi) \quad (6)$$

Az ív másik pontja $D(d, \delta)$ sugara pedig b .

Az origóból merőlegest állítva $P(r_0, \theta)$ pontban. Összekötjük D és O pontokat majd megkapjuk a DOP derékszögű háromszöget, ahol $DO=d$ és DOP szög $= \delta - \theta$. Ezért

$$OP = r_0 = d \cdot \cos(\delta - \theta) \quad (7)$$

OPK derékszögű háromszög, ezért $\theta = \frac{\pi}{2} - K_{szög}$, ezért

$$K_{szög} = \pi - \alpha. \quad (8)$$

Ezért:

$$\vartheta = \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha) = \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \quad (9)$$

Amiatt, hogy

$OP = r_0 = \cos(\delta - \theta)$, ezért:

$$r_0 = d \cos \left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \right) \right) \quad (10)$$

ω meghatározása: az ív középpontjában, három szög van, az első az OAB derékszögű háromszögben, az első szög ezért $= \arctan \frac{a}{b}$. A második az OBD derékszögű háromszögben. A koszinusz tételt alkalmazva

$$d^2 = b^2 + \left(\sqrt{(a^2 + b^2)} \right)^2 - 2b\sqrt{(a^2 + b^2)} \cos 2, \quad (11)$$

A (10)-es formulát behelyettesítve:

$r(\theta) = r_0 \sec(\theta - \varphi)$ Ahol r és θ a vonal bármely pontjának polárkoordinátái, $\varphi = \theta$ ezért

$$\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \quad (12)$$

és

$$r_0 = d \cos \left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \right) \right). \quad (13)$$

(12) és (13), alkalmazásával számítsuk ki $r(\theta)$ -t:

$$r(\theta) = d \cos \left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \right) \right) \cdot \sec \left(\theta - \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \right)$$

A teljes eljárás hosszának meghatározása

Polárkoordináta rendszerben az "S" ív hosszának meghatározása az alábbival lehetséges [8]:

$$S = \int_a^b \sqrt{\left(\frac{d}{dt} r(t) \right)^2 + r(t)^2} dt \quad (14)$$

A track hossza az alábbi háromból tevődik össze:

Elsőnek kiszámítjuk az egyenest: $r = \arctan \alpha$ egyenes. Itt a legegyszerűbb módja eldönteni a hosszat, ez legyen a .

Második rész:

$$r(\theta) = d \cos \left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \right) \right) \sec \left(\theta - \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \right) \quad (15)$$

Az eredmény: $b \cdot \omega$ mert a sugár b , a középponti szög ω , a kerület $2b\pi$ osztva 2π -vel és beszorozva ω -val:

$$\frac{2b\pi}{2\pi} \omega = b\omega. \quad (16)$$

Harmadik rész:

$r(\theta) = d \sec(\theta - \varphi)$ megfelel a DL szakasznak, a második egyenesnek.

Az optimalizációs modellekben a vízszintes komponensek vizsgálatakor ezen három rész egyenletének vizsgálata történik.

A teljes eljárás hossza a három rész összege, tehát $a + b \cdot \omega + DL$. Ennek a hosszának a minimalizálása szükséges lehet egy eljárás optimalizálásához. De az eljárás nem lehet túl rövid, mert az egyrészt nem adhat megfelelő emelkedést, és növelheti a személyzet terhelését. Pl. egy átlagos "Category A" repülőgép, pl. egy Boeing 737, vagy Airbus 320 esetén az Operation Manual (vagy a QRH, ill. "check-list") több, mint 30 elemet tartalmaz, amit felszállás után végre kell hajtani (ld [9] és [10]). Ugyan ennek nagy része az emelkedés elején végrehajtásra kerül, de még az átváltási magasság eléréséig is marad kb. 10-12 tennivaló. (ld. [14]) Ezek végrehajtása is megszabja a személyzet munkaterhelését, indokolatlanul rövid eljárási szegmensek ebben problémát okozhatnak.

Természetesen az akadálymentesség vizsgálata is fontos, ahogy korábban említettük.

A bakteriális evolúciós algoritmusos kiértékelés módjai

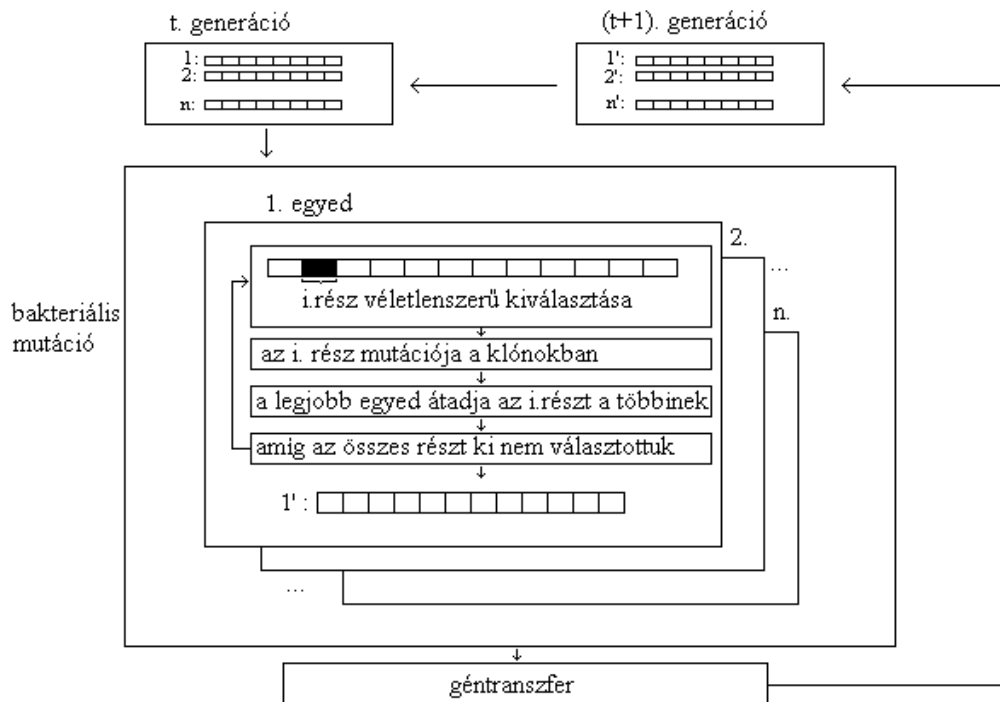
Első lépés: Létrehozunk véletlenszerűen egy $N_{induló}$ egyedből álló populációt.

Ez esetünkben azt jelenti, hogy a jelenlegi módszerekkel, akár manuálisan, akár a GeoTitan szoftver segítségével megtervezünk egy eljárást, ami az összes korlátozó feltételnek (amit a doc. 8168 második kötete tartalmaz) megfelel, és valamilyen előre rögzített stratégiát (pl. RNAV eljárás készítése, zajvédelmi korlátok, kapacitással kapcsolatos követelmények, szárahossza – ld. az előző részben a kompromisszum a zajvédelem, és az üzemanyag-felhasználás között stb.) követ, és ezt sokszorosítjuk, “klónozzuk” meghatározott számban.

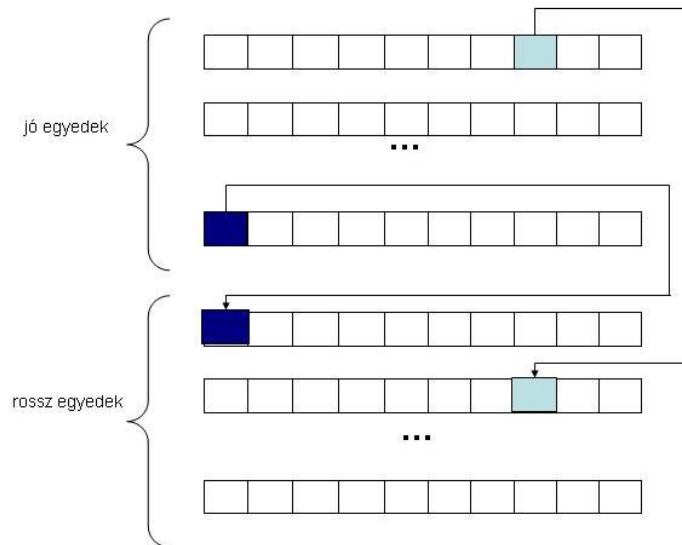
Másodszor, minden egyedre alkalmazzuk az ún. bakteriális mutációt, mely a következőképpen működik:

Az egyedet lemásoljuk $N_{klónok}$ példányban (ezek a klónok). A kromoszóma egy véletlenszerűen kiválasztott i . részét megváltoztatjuk a klónokban (mutáció), az eredeti baktériumban viszont nem. Utána kiválasztjuk a legjobb egyedet, és a kromoszómájának az i . részét átadjuk a többi egyednek. Ez azt jelenti, hogy a többi egyed kromoszómájának i . részét helyettesítjük a legjobb egyed kromoszómájának i . részével. Ezt a folyamatot, mely a mutáció-kiértékelés-kiválasztás-behelyettesítés lépéssorozatát jelenti, ismételjük addig, amíg a kromoszómának mindegyik részét (pontosan) egyszer ki nem választottuk. Amikor az egész kromoszómával végeztünk, kiválasztjuk a legjobb egyedet (pontosabban 3 legjobb egyedet), a többi $N_{klónok}$ egyed pedig megszüntetjük.

A következő lépésben következik a géntranszfer művelet, ahogy az alábbi ábra mutatja.



5. ábra A vázlatos működés (Dr. Botzheim nyomán)



6. ábra A géntranszfer művelet (Dr. Botzheim nyomán)

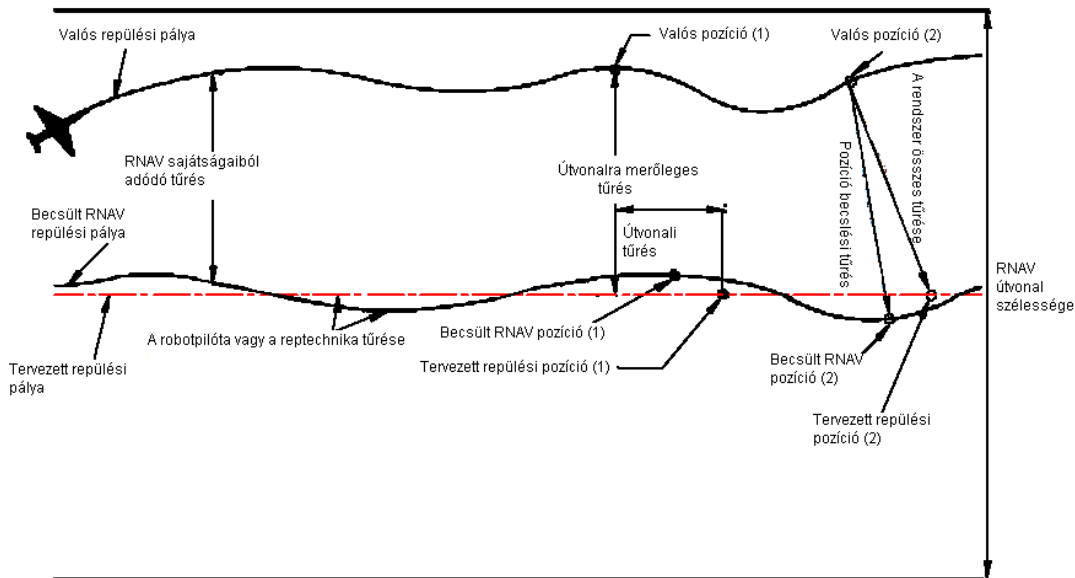
Ezután a populációt rendezzük az egyedek jósági értéke szerint, majd felosztjuk két fél populációra. Az egyik alpopulációba a jobb egyedek kerülnek, a másikba pedig a rosszabbak.

Ehhez minden baktérium változatot ki kell értékelnünk. Az értékelés alapja az a kritérium rendszer, amit az első fázisban meghatároztunk. A kiértékelés nem abszolút számokkal történik, hanem az alapján, hogy a megváltoztatott baktérium az eredeti, manuálisan szerkesztett változathoz képest mennyire tér el, pozitív vagy negatív irányban.

A kiértékelés folyamatát az alábbiakban foglalhatjuk össze:

A szabványok [3] és [4] tartalmazzák az eljárásokra vonatkozó megfelelő tűréseket. Például a Basic RNAV, azaz B-RNAV esetén a pontosság ± 5 NM. Ez az RNP-5-ös navigációs pontosságnak felel meg. Ez azt jelenti, hogy az útvonal 95%-ában a repülőgépek a kijelölt útvonal ± 5 NM-es sávjában kell tartózkodnia.

A kiértékelés folyamán vizsgálni kell, hogy a vizsgált útvonal útvonali tűrésén belül a repülőgépek érinthetnek-e pl. zajérzékeny területet, vagy bármi más olyan részt, ahol (ha teljesül a megkívánt RNP pontosság) az új eljárás esetleg problémákat okozhat. (Természetesen, amennyiben akadálymentesség szempontjából rendben van – ez a legjobban korlátozó feltétel, ha valaminél az akadálymentesség sérül, pl. az elsődleges területen – ld. 3. ábra, akkor azt az eljárást tovább nem vizsgáljuk, az előbbi példában a „rossz egyedek” közé helyezzük.)



7. ábra RNAV útvonal tűrései [3]

A tervezett útvonaltól való „kilengések” vizsgálatának problémáját úgy kezelhetjük, hogy a továbbiakban különféle módszerekkel (pl. Branch and Bound algoritmussal [13]) a pozíciók halmazát vizsgáljuk, és azokat az eljárásokat részesítsük előnyben a „géntranszfer” művelethez, ahol a valós pozíciók nagy része elkerüli a problémás területeket.

A lényegi kiértékelés az eljárások egészére ár/érték arány alapján történik: azaz mérjük, hogy az egyes változatok a pontozási rendszerben mennyivel jobbak, de azt is, hogy ez az esetleges jobb eredmény mennyivel több ráfordítással, azaz más szárhosszak, gazdaságosabb emelkedési feltételek a SID-eknél, stb. teljesíthető, és ezeket az előre megadott költségmutatókkal összeszorozva megkapjuk a javulás becsült költségvonatát.

Mit kell az algoritmusnak figyelembe venni?

1. Az adott útvonali szegmens hossza;
2. az adott útvonali szegmens szélességi kiterjedése, akadálymenteségi területei;
3. az adott útvonali szegmens emelkedési/süllyedési gradiense;
4. az akadályfelületek esésviszonyai, melyeket az alábbi, meghatározott adatok felhasználásával lehet kalkulálni:
 - földi navigációs berendezések pontossága, vagy területi navigációs pontosság;
 - fedélzeti navigációs berendezés pontossága;
 - repüléstechnikai/időzítési pontosság;
 - műszer szerinti sebesség – valós sebesség;
 - várhatóan alkalmazott bedöntés;
 - az adott repülési szegmens magassága;
5. várható környezeti adatok (hőmérséklet, szél).

Az első három értéket változtatni is tudjuk az eljárások javítása érdekében, ezeken felül még az alábbi paraméterekkel kell az algoritmusnak foglalkoznia:

- forduló geometria, ne legyenek pl. 200 csomónál, 90 fokos irányváltást megkövetelő fordulók. A fordulók geometriáját (empirikus úton fejlesztve) a doc 8168 is tartalmazza;

- szélspirál: Amikor vége egy szegmensnek, és forduló következik, oda szélspirált szerkesztünk, a forduló tőrésének meghatározásához.

A fordulók (amennyiben szükséges) geometriai paramétereit:

- magasság;
- műszer szerinti repülési sebesség (IAS);
- várható szél;
- bedöntés;
- repüléstechnikai tőrések.

ÖSSZEFOGLALÁS, TOVÁBBI MUNKÁK

Összefoglalásképpen megemlíthetjük, hogy az indulási eljárások fejlesztése során (egyelőre) az alábbi paramétereket lehet automatizáltan, önfejlesztő algoritmusok segítségével vizsgálni, és optimalni:

- akadálymentesség (mint legfontosabb, korlátozó tényező).
- optimális emelkedés.
- a jelenlegi légtérszerkezetből adódó korlátok figyelembe vétele.
- zajvédelmi szempontok, a különösen zajérzékeny területektől minél távolabb megszerkeszteni az útvonalat.

Az adott eljárás kiértékelése folyamán pedig az alábbi lépéseket tehetjük (egyúttal meghatározva a további kutatások irányát):

- egy adott eljárás vízszintes síkjának kiemlézése – az útvonal vonalvezetésének minél optimálisabb meghatározásához a pályaadatok elemzése hagyományos numerikus módszerekkel (pl. B-spline, Bézier görbék, ld. [12]) vagy egyéb úton modellezni a repülőgépek valós pályáját;
- a kapott valós pályaadatok alapján meghatározni a generált eljárások ellenőrző-függvényének paramétereit.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Fehér, Bakó: Légiforgalmi indulási eljárások optimalálása, Repüléstudományi konferencia, 2013. április 11. Konferencia kiadvány. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Repülő Tanszék. ISSN 1789-770X
- [2] Fehér, Bakó and Földesi (2012): Cost and fuel-efficient departure and arrival air traffic procedure design method, 8th Annual International Bata Conference for Ph.D. Students and Young Researchers, Tomáš Bata University, Zlín, Czech Republic 19th April 2012
- [3] EUROCONTROL – Guidance Material for the Design of Terminal Procedures for Area Navigation (DME/DME, B-GNSS, Baro-VNAV & RNP-RNAV) 3rd edition, 2003. március
- [4] ICAO Doc. 8168 Volume II 5th Edition, ICAO, 2005. június
- [5] Dr. Botzheim János – Intelligens számítástechnikai modellek identifikációja evolúciós és gradiens alapú tanuló algoritmusokkal. – Ph.D. értekezés BME-VIK Távközlési és Médiainformatikai Tanszék Budapest, 2007
- [6] HungaroControl – Hungarian Air Navigation Services: AIP Hungary SID Map LHBP 31 AIRAC AMDT 003/2009 Chapter: AD-2, Page: LHBP- ARR 31R-1.
- [7] Kirchner, F.: Optimal unconstrained solution to conflict resolution in 3-d airspace. Manuscript (2001).
- [8] George B. Thomas, Jr: Thomas' Calculus, 10th edition, Addison Wesley, 2003. Section 8.5, p 432
- [9] Boeing Commercial Airplanes: 737-6Q8/-7Q8/-8Q8 Flight Crew Operations Manual, NP. 21.36-39, pp. 140-143. Revision Number: 14, Revision Date: September 25, 2009.
- [10] Airbus Industrie: A320 family Flight Crew Operating Manual, 3.05-3.06, pp. 162-164. Airbus, 2009.
- [11] Parsopoulos, K.; Vrahatis, M. : Particle swarm optimization method in multiobjective problems. Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing (2002) (SAC). pp. 603–607.
- [12] D. Delahaye et al. : Mathematical Models for Aircraft Trajectory Design : A Survey. EIWAC 2013, 3rd ENRI International Workshop on ATM/CNS, Tokyo (2013)
- [13] Jens Clausen: Branch and Bound Algorithms - Principles and Examples. Department of Computer Science, University of Copenhagen, Universitetsparken 1, DK-2100 Copenhagen, Denmark
- [14] Malév Zrt: Operation Manual, Part B Rev. 13. pp.68-69. 2009. szeptember 25.

Szilágyi Gábor¹ – Lukács Krisztián² – Szamosi Barna³ – Pokorádi László⁴

A QS 9000 ÉS A VDA SZERINTI HIBAMÓD ÉS -HATÁSELEMZÉSEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA⁵

Az autóiparra napjainkban az erős verseny a jellemző. Ez a verseny magával hozta azt, hogy az amerikai autógyártók létrehozták a QS 9000-, a német autógyártók pedig megalkották a VDA többletkövetelmény rendszert. A két eltérő kultúrához tartozó autógyártói kör által létrehozott többletkövetelmény rendszereket (a QS 9000-t, és a VDA-t is) együttesen is alkalmazó beszállítókat komoly kihívás elé állítja. Hiszen a két többletkövetelmény rendszer még az olyan közös gyökerű módszert is eltérően alkalmazza, mint az FMEA. A tanulmányban a szerzők a két autógyártó kör módszertanával végrehajtott FMEA elemzés egy a gyakorlatban megvalósított példáján keresztül mutatják be, hogy az eltérő kultúra milyen eltérő módszertanhoz és mennyire eltérő eredményekhez vezet, holott a célja mindkét többletkövetelmény rendszernek ugyanaz: kiszűrni a lehetséges hibákat.

THE QS 9000 AND THE VDA FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS COMPARISON

The automobile industry today is characterized by strong competition. This competition has brought it to the U.S. automakers created the QS 9000 - German car manufacturers have created the VDA excess of requirements. Additional platforms (QS-9000 and of a VDA also) established by automobile manufacturers round for the two different cultures together using suppliers also maintains a significant challenge. After the system has two additional requirements apply differently to a common root method such as FMEA. In the study, the authors of the two automakers circle methodology implemented FMEA analysis is presented through a practice implemented an example to show the difference in culture, the diverse methodology and how divergent results, although the purpose of both excess of requirements is the same: to eliminate potential errors.

1. BEVEZETÉS

Napjaink autóiparára jellemző a rendkívül kiélezett verseny, és ennek következtében megjelenő időkényszer. A kívánt határidőre, minőségileg kifogástalan terméket, elfogadható áron szállító, megbízható beszállítókkal, illetve a tartósan munkát biztosító, pontosan fizető, korrekt megrendelővel kialakított partneri viszony kölcsönös érdeke mind a megrendelőnek, mind a beszállítónak. E partnerség kialakítását általában a megrendelő kezdeményezi korábbi kedvező tapasztalatai alapján.

¹ gépészmérnök hallgató, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
szilgabo@gmail.com

² gépészmérnök hallgató, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
krisztian_lukacs@hotmail.com

³ műszaki tanár, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
szamosi.barna@bgk.uni-obuda.hu

⁴ egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

⁵Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztviselőképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com



A beszállító cégek minőségi teljesítőképessége létfontosságú a megrendelő termékeinek, szolgáltatásainak minőségi színvonala szempontjából. Az ideális megrendelő vállalat felelősséget érez beszállítóival szemben, míg a beszállító kötelezettségekkel és felelősséggel tartozik megrendelőjének. Az állandó beszállítókkal kialakított ideális partneri kapcsolat a minőség hosszú távú biztosításának alapja.

Az autóipar szereplői közül az amerikai és a német autógyártók egy-egy csoportja többletkövetelmény rendszereket hoztak létre QS 9000, valamint VDA jelöléssel. A tanulmányunk a két követelményrendszer alapján végzett összehasonlítás. Eredménye érdekes párhuzamokat és ellentéteket mutat meg. Munkánk során egy kész Folyamat FMEA elemzést vettünk górcső alá, amely egy kerámia alkatrészekből összeálló csaptelep szerelési folyamatát vizsgálja [7]. Ezek után mind a FMEA előírásai szerint, mind a VDA 4. kötet FMEA kézikönyv utasításai szerint kiértékeljük a folyamatot, majd a kapott eredmények alapján következtetéseket vontunk le.

Az FMEA egy olyan elemzéses módszertan melyet azért alkalmaznak, hogy megbizonyosodjanak arról, hogy a termék- és folyamattervezés folyamatában (APQP:Advanced Product Quality Planning, magyarul Előzetes Termékminőség Tervezés) a lehetséges problémák azonosítása és figyelembevétele megtörtént. Az eljárás a hibamegelőzés, a valószínűsíthető hibáknak a tervezési fázisban történő feltárásában és elhárításában játszik fő szerepet. Tulajdonképpen az elkövethető hibák, a hibák hatásainak, és azok okainak a gyűjteménye, kiegészítve a jelenlegi megelőzéssel és a detektálhatóság vizsgálatával.

A dolgozat célja a különböző értékelési metódusokból adódó különbségek hangsúlyozása, az egyes sajátosságok kiemelése. A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a két autóipari többletkövetelmény rendszert mutatja be. A 3. fejezetben a hibamód és- hatáselemzés ismerhető meg. A 4. fejezetben olvasható az elvégzett összehasonlító elemzés és annak eredményeiből levont következtetések. Végezetül a Szerzők összegzik munkájukat.

2. AUTÓIPARI TÖBBLETKÖVETELMÉNYEK

2.1. QS 9000

Három nagy amerikai autógyártó a Chrysler, a Ford és a GM közös követelményrendszere.

A QS-9000 létrehozásának céljai:

- csökkenteni a beszállítói felülvizsgálatot;
- egységes követelmények meghatározása;
- a dokumentáció csökkentése.

A korábbi 7. kötet:

1. QS 9000 (alap) - 3 rész + mellékletek;
2. QSA (a minőségügyi rendszer értékelése);
3. PPAP (gyártott termék - első minta jóváhagyási folyamata);
4. APQP (minőségtervezés);
5. SPC (statisztikai folyamatszabályozás);
6. MSA (mérőrendszerek elemzése);
7. FMEA (hibamód - és hatáselemzés).

2.2. Verban der Automobilindustrie (VDA)

A német VDA előírás a QS 9000-hez képest terjedelmesebb. A kötetek hasonló módon, de számos területen aprólékos részletességgel és tagoltabban fogják át a járműipar folyamatait és minden területét, még a műszaki tisztaság tervezését is [3].

Az 1. kötet vezérfonalat ad a minőségi követelmények dokumentálásához és archiválásához. A 2. kötet a beszállítás minőségbiztosításának előírásait tartalmazza. A megbízhatósággal foglalkozó 3. kötet két része közül az első a megbízhatóság-menedzsment, a második rész módszereket és segédanyagokat nyújt. A 4. kötet DFSS (Design for Six Sigma - Hat Szigmára Való Tervezés) fejezete formát mutat a Six sigma eljárás alkalmazásához, az FMEA fejezet (4. kiadását 2012. júniusában aktualizálták) pedig a termék/gyártmány és folyamat Hibamód és -hatáselemzését ismerteti. Az 5. kötet foglalkozik a mérési rendszerek vizsgálatával.

Különösen részletesen ismerteti az auditokkal kapcsolatos követelményeket a 6. kötet. Tárgyalja a rendszerauditokat, a folyamatauditokat és a termékauditot. A 6. kötet 1. része a sorozatgyártás, 2. része a szolgáltatás, 4. része a gyártóeszközök rendszerauditjának előírásait tartalmazza. A folyamatauditokkal a sorozatgyártás esetén a 3. rész, az egyedi termék gyártás esetében a 7. rész foglalkozik. A termékauditokkal szemben támasztott követelmények az 5. részben találhatók.

A VDA 7. kötete minőségi adatok átalakításáról ad leírást. A 8. kötet a felépítmény előállítóknál kialakított menedzsmentrendszer minimális követelményeit (rendszerleírás és értékelés) fogja össze. A 9. kötet a kibocsátás (emisszió) és fogyasztás minőségbiztosításáról szól. A 10. kötet a vevői elégedettség követelményeivel, a 11. kötet az eredményes értékesítés témákkal foglalkozik. A 12. kötet a folyamatközpontúság címet viseli. A 13. kötet a szoftver rendszer fejlesztés minőségbiztosítása. A 14. kötet a folyamattartományban alkalmazható megelőző minőségmenedzsment módszereket ismerteti. A 16. kötet az autók külső és belső terének dekoratív felületeivel szembeni követelményeket fogalmazza meg. A 19. fejezet a műszaki tisztaság tervezés előírása.

3. A HIBAMÓD ÉS -HATÁSELEMZÉS

Az angol nyelvű szakirodalomba FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) rövidítéssel bevonult hibamód és -hatás elemzést az USA-ban fejlesztették ki, a Boeing és a Martin Mariette vállalatok már 1957-ben mérnöki kézikönyvet adtak ki az általános módszerről. A módszer egy korai és sikeres gyakorlati alkalmazására az Apolló holdprogramon belül került sor, miután az Apolló 1 fedélzetén, földi gyakorlás közben, életét veszítették Grissom, White és Chaffee űrhajósok.

Az FMEA rendszerbe foglalt, fejlesztő és ellenőrző módszer, amely magába foglalja a tényleges és lehetséges hibák, valamint azok következményeinek és okainak vizsgálatát. Az FMEA célja a hibák fokozatos és rendszeres kiküszöbölésével az egyre jobb minőségű termékek egyre gazdaságosabb módon történő előállítása [2].

Az FMEA alkalmazható a gyártáson kívüli területekre is. Például használható egy adminisztrációs folyamat vagy egy biztonsági rendszer kockázatelemzésénél. Általánosságban az FMEA-t azokban a terméktervezési- és gyártófolyamatokban megjelenő lehetséges hibáknál alkalmazzák, ahol ennek az előnyei egyértelműek és potenciálisan jelentősek [4].

Az elemzés célja az egyes hibalehetőségek felismerése a termék életciklusának minél korábbi szakaszában, a hiba előfordulásának megelőzése és az esetlegesen fellépő hibák megakadályozása, ezáltal egyrészt közvetlen költség megtakarítás elérése, másrészt a vállalat jó hírnevének megőrzése.

A módszer nemcsak a gyártás megkezdése előtti, hanem már működő rendszerek, folyamatok esetén is alkalmazható.

A konstrukciós FMEA célja a konstrukciós megoldásokból és a tervező által készített előírásokból eredő hibák és hibalehetőségek feltárása és megszüntetése.

A folyamat FMEA célja pedig a gyártás során az anyagbeszerzéstől a csomagolt áru kiszállításáig a technológiai fegyelmeztlenségekből, anyag-, gép- és eszközhibákból származó hibalehetőségek és kockázati források feltárása és megelőzése.

3.1. FMEA a QS 9000 kézikönyve alapján

A kézikönyv alapján minden FMEA folyamatban a lehetséges hibamódok feltárása műszaki nyelven történik, a hiba hatásának elemzését a vevő szemszögéből kell végezni. A vevői követelmények ismeretében a hibakiváltó okokat három szempont szerint kell értékelni [6]:

Súlyosság (S – Severity) – milyen hatással van a hiba a vevőre?

A hiba jelentősége: azt állapítjuk meg, hogy a hiba következménye milyen mértékű hatást gyakorol a vevőre. A hatás mértéke lehet a legkisebb, amikor a vevő nem érzékeli a hibát, legnagyobb, ha a hiba a vevő biztonságát veszélyezteti. Egy hibához csak egy jelentőséget mérő számot kell rendelni a legsúlyosabb következményt figyelembe véve. A jellemző minősítés külön rovatban külön jelölhető a jellemző minősítés (pl.: kritikus, jelentős, stb.) A pontozás 1-től 10-ig terjedő skálán történik, legsúlyosabb a 10 pont.

Gyakoriság (O – Occurrence) – milyen gyakran fordul elő az adott hiba.

A hibaok bekövetkezésének gyakorisága: a bekövetkezés annak a valószínűsége, hogy a hiba a meghatározott hibaok miatt bekövetkezik-e. Minden hibaokhoz tartozik érték.

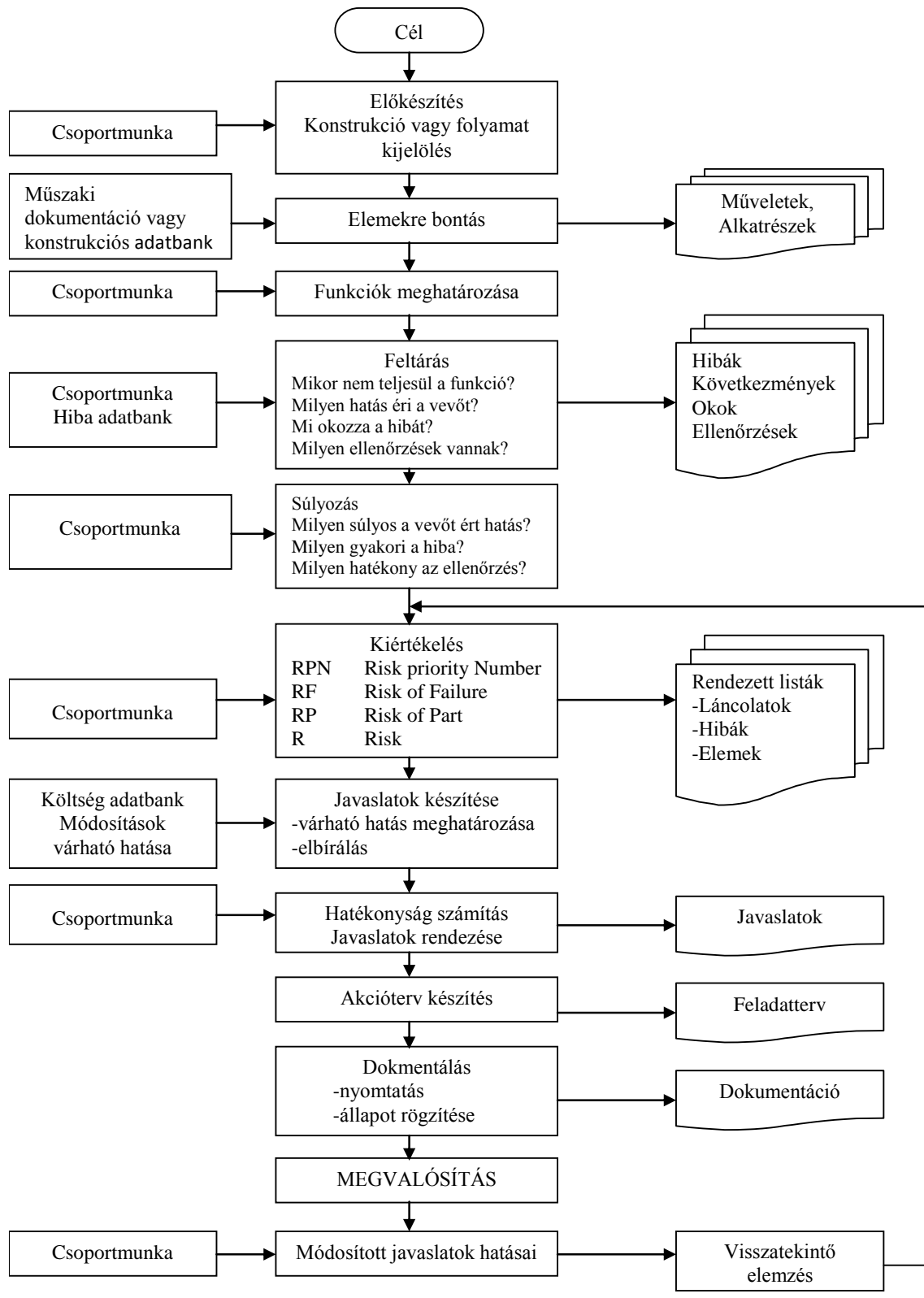
A hibák gyakoriságát szintén 1-től 10-ig terjedő skálán pontozzák attól függően, hogy a hiba milyen mértékben fordulhat elő.

Észlelhetőség (D - Detection) – az alkalmazott ellenőrzés/vizsgálat milyen mértékben észleli a hibát.

A hiba észlelhetősége: az észlelhetőséggel azt vizsgáljuk, hogy a meghatározott hibaok miatt létrejövő hiba a jelenlegi ellenőrzések mellett milyen valószínűséggel jut el a vevőhöz. Fel kell tételezni, hogy a hiba bekövetkezett és becsülni kell a hiba-megállapítás képességét. A pontozás ebben az esetben is 1-től 10-ig történik, attól függően, hogy az ellenőrzés nem tárja fel, vagy nagy biztonsággal feltárja a hibát. Minden hibaokhoz külön érték tartozik.

A kockázatelemzés során kiszámítható a kockázati szám, az $RPN = \text{súlyosság (S)} \times \text{gyakoriság (O)} \times \text{észlelhetőség (D)}$. Ennek nagysága 1-től 1000-ig terjedhet.

A kézikönyv szerint nem ajánlott ennek automatikus alkalmazása (mint a korábbi kiadásokban) az intézkedések sorrendjének meghatározásánál. Ennek oka, hogy megtévesztő az RPN szám, mert a magas kockázatú hiba lehet alacsonyabb RPN értékű is (pl.: $10 \times 2 \times 2 = 40$),



1. ábra Az FMEA folyamata [1]

míg az alacsonyabb kockázati értékű hiba magasabb RPN értékű (pl.: $4 \times 5 \times 3 = 60$). Nincs kötelező RPN határ, mint a korábbi ajánlásokban. Az „igazi” problémákra kell összpontosíta-

ni. Tehát a csapat számára fontos információ az RPN értéke, de ennek korlátai minden csapattag számára értékelhetőek legyenek.

A javasolt intézkedések megfogalmazásakor a cél a javasolt sorrend: súlyosság (a terv felülvizsgálatával csökkenthető ennek értéke), a gyakoriság (felülvizsgálat) és az észlelhetőség (validálás, kísérlettervezés, tesztek, megbízhatóság-elemzés alkalmazása). A változtatások eredményéről meg kell győződni.

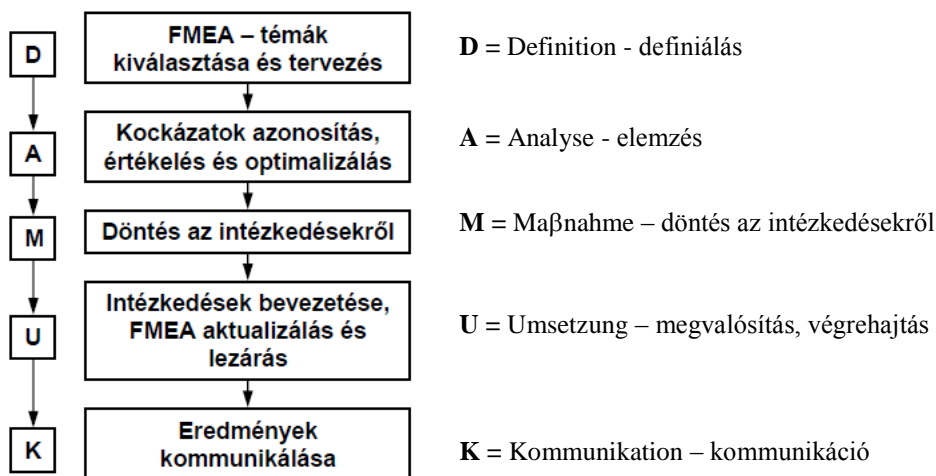
3.2. FMEA a VDA alapján

A VDA 4. kötet az FMEA szakaszait az ún DAMUK „betűszó” modellben (4. ábra) határozza meg és ábrázolja [8]. Ennek lépései a következők:

Ez a kézikönyv a folyamatra helyezi a hangsúlyt, termék és folyamat FMEA alkalmazását írja elő.

D – Definiálás, meghatározás.

Az FMEA hatásos és hatékony megvalósításának alapja, speciálisan a következő, elemzési fázis számára. Ebben a szakaszban a VDA 4. kötet elsőbbségi kritériumokra példákat és a döntés alapját képező technikákat sorol fel (8D eljárás, QFD, FTA, stb.). Külön foglalkozik az FMEA-moderátorral és a csapattagokkal szemben támasztott feltételekkel, a team összeállításával. A támogató módszerekkel foglalkozó fejezet példákat közöl, illetve a kockázatok világos megkülönböztetéséhez az értékelésnél megadja a súlyozás fokozatait, melyek: 0 – nincs kockázat, 1 – csekély mértékű a kockázat, 3 – van kockázat, 9 – különösen nagymértékű a kockázat.



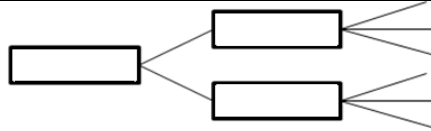
2. ábra A DAMUK modell elemei (forrás: Szerzők)

A – Analízis, elemzés

Az elemzési szakaszban minden követelményt az elfogadhatóságra, verifikálhatóságra, a validálhatóságra és ezek kockázatára meghatároznak. Az elemzési szakasz csatlakozik a döntéshozáshoz.

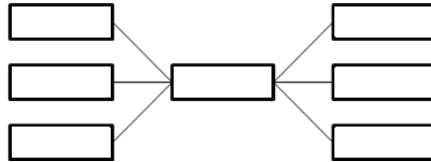
Az FMEA kivitelezéséhez 5 lépésre van szükség, melyek:

- Struktúra/szerkezet elemzés. DFMEA esetében: rendszer – alrendszer – alkatrész, PFMEA esetében: folyamatok – részfolyamatok – 4M (ember, anyag, gép, környezet)



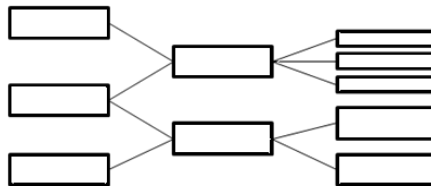
3. ábra A struktúra/szerkezet elemzés vázlata [8]

- Funkcióelemzés. A struktúraelemekhez rendelt funkciók, a funkciók kapcsolata.



4. ábra A funkcióelemzés vázlata [8]

- Hibaelemzés. A funkciókhoz rendelt hibafunkciók, a hibafunkciók kapcsolata.



5. ábra A hibaelemzés vázlata [8]

- Az intézkedések elemzése. Külön a meglévő és külön a tervezett intézkedések vizsgálata.
- Optimalizálás

A német nyelvterület a következő jelöléseket használja az FMEA táblázatban:

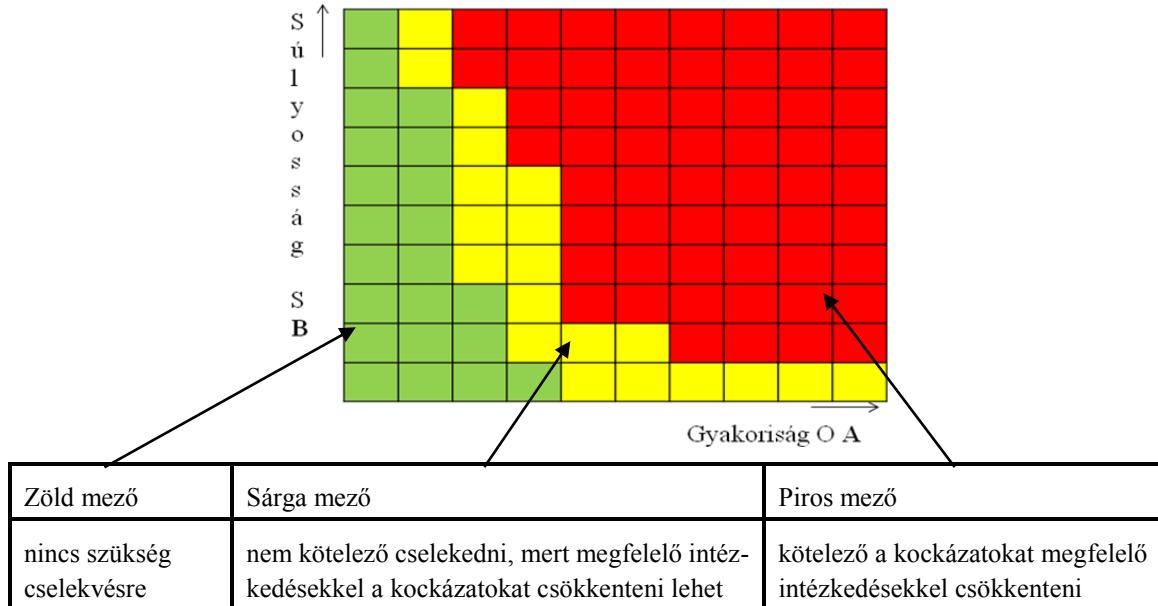
- B – a hiba következményének jelentősége (Bedeutung) – a Jelentőség, S megfelelője;
- K – lehetséges hibaok;
- A – a hibaok fellépésének valószínűsége (Aufretenswahrscheinlichkeit) – a Bekövetkezés, O megfelelője;
- E – a fellépő hibaok felfedezésének valószínűsége (Entdeckungswahrscheinlichkeit) – az Észlelés, D megfelelője;
- RPZ – kockázati érték (Risikopriorität) = $B \times A \times E$, az RPN szám megfelelője.

A kockázat fenti értékelése - az RPZ (RPN) szám - nem minden esetben felel meg a kockázat nagyságának megállapítására, mert akkor is lehet alacsony ez az érték, ha a hiba jelentősége, a hiba súlyossága 9, vagy 10 pontot kap (pl.: $10 \times 2 \times 1 = 20$). Ezért az RPZ számítása mellett alternatív értékeléseket ajánl a kötet.

Ezek többféleképpen lehetnek:

- a B és A értékek szorzata;
- a B és E értékek szorzata;
- a B és A értékek összege;
- a B és E értékek összege;
- a B, A és E értékekből kialakított háromjegyű, vagy a B és A, valamint B és E értékekből képzett kétjegyű számok nagyságrend szerint csökkenő sorrendbe rendezése
- kockázati mátrix, B-re, A-ra és E-re megszabott határértékekkel (6. ábra).

A mátrix mezői úgy készülnek, hogy a szakértő csapat a B, A és E értékekre a vevői igények és előírások ismeretében határértékeket állapít meg. Ezután kiválogatják a határértéknél nagyobb valamennyi B értéket, ezekből a A határértékénél nagyobbakat és a csoportból minden E határértéknél nagyobbakat. Ezek után az egyes hibaokokat elhelyezik a mátrixban a megfelelő helyen.



6. ábra Kockázati mátrix [1]

Ilyen kockázati mátrix, mely két rizikófaktort vesz figyelembe, ezáltal alternatív megoldásokat kínálva, az FMEA kézikönyv nem tartalmaz. Ez már önmagában is nagy különbség.

M – döntés az intézkedésekről

Ennek a fázisnak a célja: a lehetséges intézkedésekről, melyeket a csapat kidolgozott, döntést hozni és az ahhoz szükséges átalakításokat elkészíteni. A döntéshozatal során a megelőző intézkedések költségeit is figyelembe kell venni. Ehhez és az FMEA-val kapcsolatos költségek megértéséhez egy külön fejezet nyújt segítséget.

U – megvalósítás, végrehajtás

Célja az intézkedések megvalósítása és a hatékonyság, eredményesség kiértékelése.

K – kommunikáció

Célja az FMEA eredményeinek bemutatása, átadása a megbízónak, megrendelőnek és használható tudás létrehozása, mely alkalmas a hibák megelőzésére és más hasonló helyzetekben a probléma megoldására alkalmas tudásbázist, tapasztalatot jelent. A 10. ábra az FMEA projekt külső és belső szintű kommunikálásának és dokumentálásának a VDA 4. szerint lényeges elemeit mutatja be. A fejezet külön hangsúlyozza az FMEA csapat tájékoztatását, együttműködését a vevővel, szállítóval, az FMEA hasznosítását és az FMEA-k közötti kapcsolatokat.

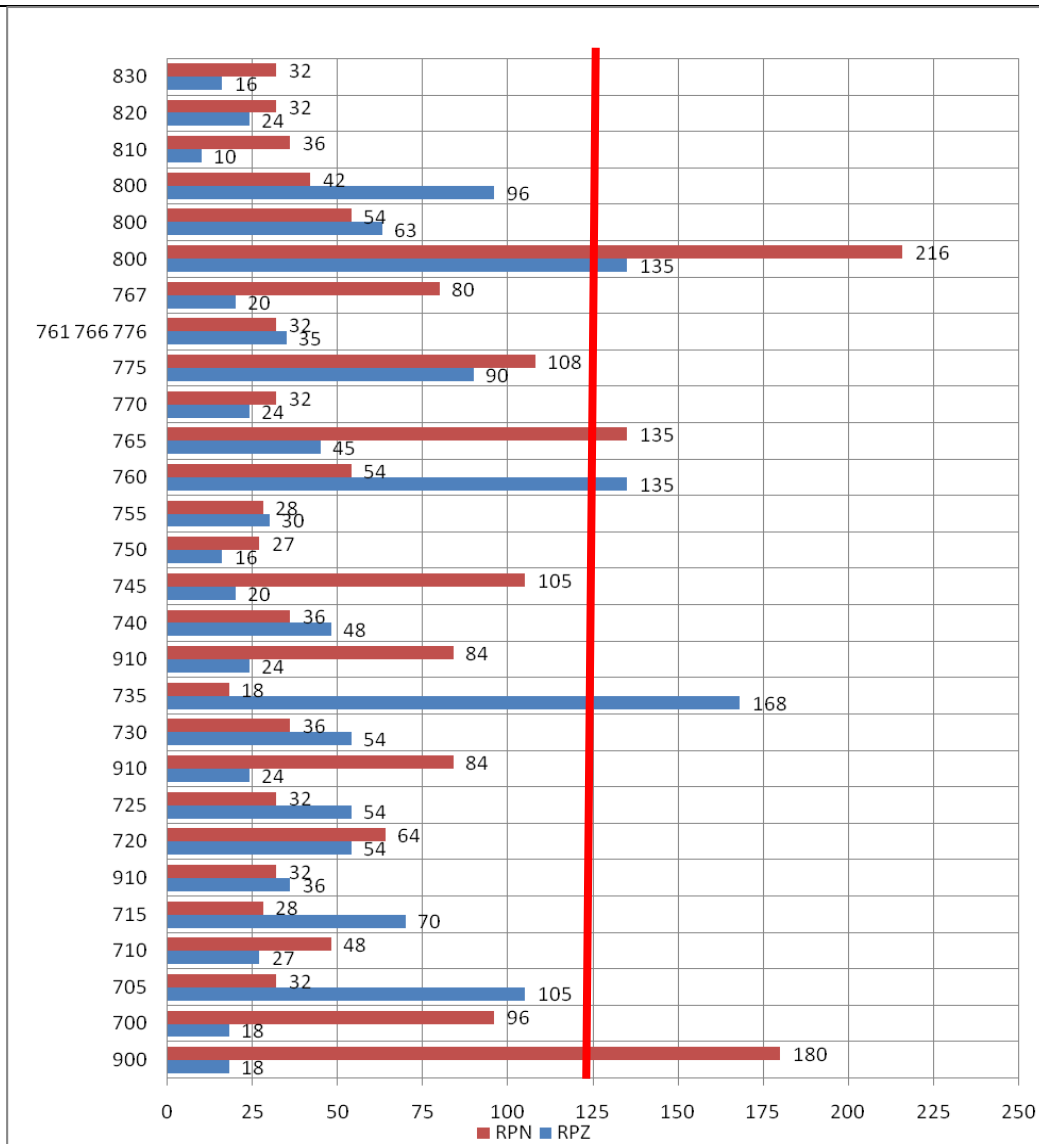
4. ÖSSZEHAISONLÍTÁS EGY MINTAPÉLDÁN KERESZTÜL

Rendszerelem	RPZ	RPN
900	18	180
700	18	96
705	105	32
710	27	48
715	70	28
910	36	32
720	54	64
725	54	32
910	24	84
730	54	36
735	168	18
910	24	84
740	48	36
745	20	105
750	16	27
755	30	28
760	135	54
765	45	135
770	24	32
775	90	108
761 766 776	35	32
767	20	80
800	135, 63, 96	216, 54, 42
810	10	36
820	24	32
830	16	32

1. táblázat Az RPZ és az RPN értékek

Az eddigi elméleti ismereteket most járjuk körbe gyakorlati szempontból is. Lehetőségünk nyílt betekintést nyerni és megvizsgálni, egy kerámia alkatrészekkel szerelt csaptelepeket gyártó cég egyik termékét.

Miután végeztünk az adott termék VDA 4. és FMEA kézikönyv szerinti elemzésével, összehasonlítottuk az RPZ és RPN értékeket (1. táblázat). Már az értékelés alatt érezhető volt, hogy eltérés lesz a két módszer között. Ez be is igazolódott.

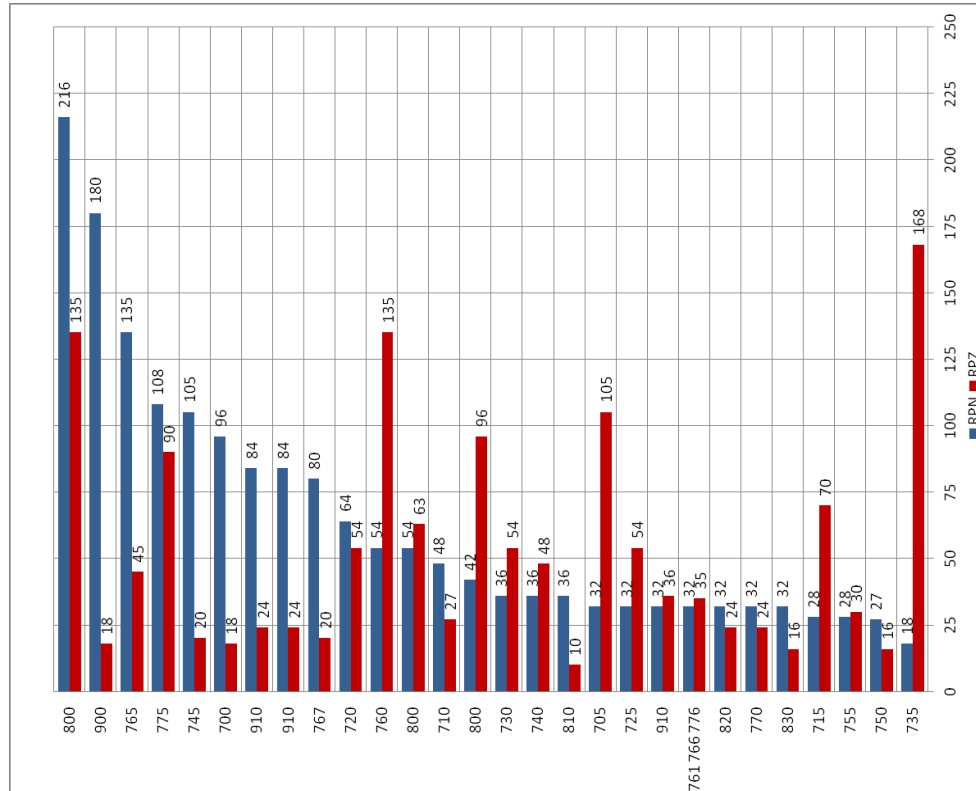


7. ábra A rizikófaktorok ábrázolása

A kapott értékek között az esetek többségében kisebb, több esetben viszont jelentős különbség található. Ennek több oka lehet. Az egyik a kapott érték számításában rejlik. Mindkét érték 3 értékelő szám szorzata, ami minimális eltérésnél többszörös eltérést okozhat. Ez részben azzal magyarázható, hogy az értékelési táblázat pontrendszere nem elég kötött, így adott probléma értékelése enged némi mozgásteret. Másik ilyen tényező, maga az értékelési szempont. Tökéletes értékelést nem lehet végezni, csak megközelítően jót, de ehhez is szükséges a vizsgált folyamat minden elemének aprólékos ismerete, ide nem csak a gépek, és tevékenységek tartoznak, hanem a munkát végző emberek is. Természetesen a két módszer eltér egymástól, ami szintén a különbségek forrása lehet. Tartalmilag a két eljárás értékelő táblázata közel megegyezik, de a vizsgálat menete teljesen eltérő.

A 7. ábrán a két módszer szerint kapott rizikófaktor értékek láthatóak. A piros vonal 125-ös értéket jelöli. Ez a határ a gyártónál jelen pillanatban a meghatározott beavatkozási határ. Az FMEA kézikönyv szerinti értékelést készen kaptuk meg, a VDA 4. szerint magunk értékeltük ki a folyamatot. Először angol nyelvről le kellett fordítani az FMEA-t magyarra, majd a VDA

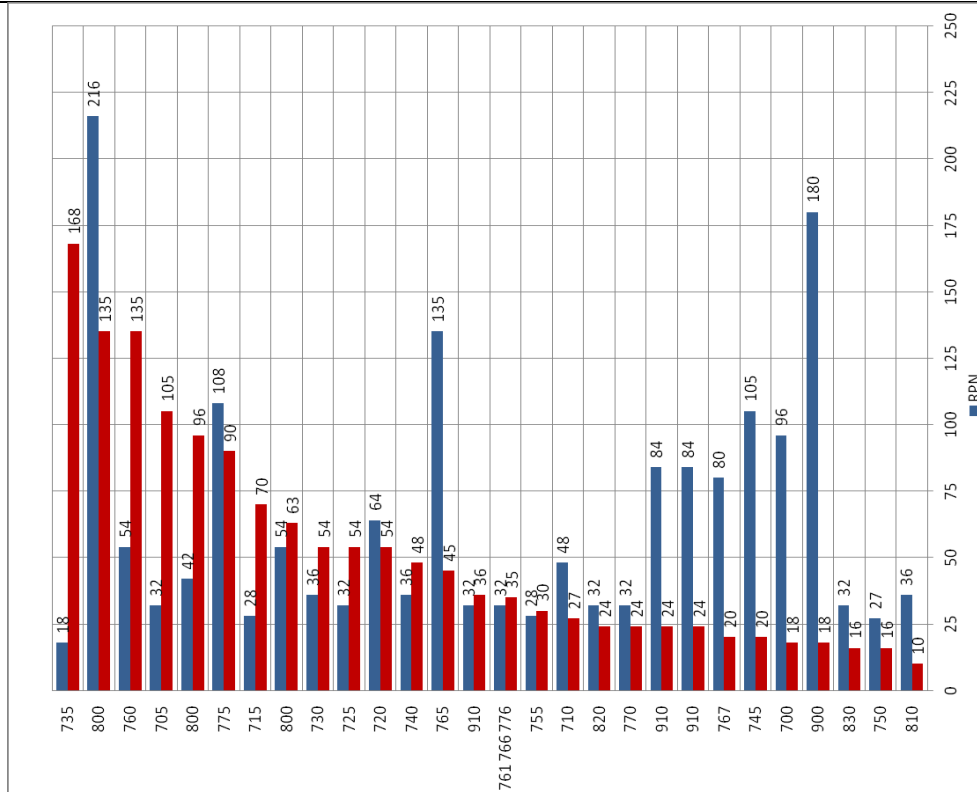
4. kézikönyv értékelő táblázatai alapján megállapítottuk az adott értékeket. Beavatkozási határ feletti rizikófaktorral 3-3 rendszerelem rendelkezik. Ez sajnos viszont csak egy esetben mutat azonosságot, a 800-as jelűnél. Indokolt is a magas pontszám, mivel ez egy ellenőrző művelet, ami nagyon sarkalatos állomása a gyártásnak.



8. ábra RPN értékek Pareto diagramja amely tartalmazza az RPZ értékeket is

A 8-as ábrán jól látszik, hogy amit a QS 9000 szerint legnagyobb rizikófaktorú kockázatnak értékelték (RPN), az a VDA szerint nem a legnagyobb rizikófaktor értékeket kapta. Sőt elgondolkodtató, hogy az RPN legnagyobb értékeihez az RPZ szinte a legkisebb értékeket rendel.

A 9. ábrán a VDA szerint kockázati tényezők (RPZ) vannak rendezve. Az előzőek alapján nem meglepő, hogy a QS 9000 szerinti magasabb kockázati tényezők (RPN) szinte rendre az alacsony RPZ értékeknél vannak.



9. ábra RPZ értékek Pareto diagramja, amely tartalmazza az RPN értékeket is

5. KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

Mindkét módszerről elmondható, hogy az alkalmazásuk előnyökkel és hátrányokkal is jár, járhat. A két módszer jellemzően két eltérő kultúrájú autógyártó kör FMEA módszere. Ez az eltérő kultúra is adhatja a magyarázatot arra, hogy két fajta metódus (QS 9000, VDA) szerint végrehajtott elemzés során különböző elemeknél kaptunk magas rizikófaktorú értékeket. A kiértékelés során több alkalommal is nagy szerephez jut az, az interszubjektív tudás, ami a különböző módszerek szerinti kiértékelési táblázatokból indul ki. Ezen kívül az ember nem mindig konzervens döntéshozatala is szerepet játszhat a különbségek létrejöttében, ugyanis egy tényező egy értékkel való megváltoztatása, amire a kézikönyvek lehetőséget adnak, akár nagyságrendi eltéréseket okozhat. Egyértelműen nem dönthető el, melyik módszer használata célravezetőbb, ezt még több FMEA elemzése és nyomon követése tenné lehetővé. Minden esetre a különbségek arra is rávilágítanak, hogy a különböző általános és vállalati kultúrájú gyökerekre támaszkodó követelmények, jelentős eltéréseket okoznak, még akkor is, ha a módszer szakmai alapjai közösek.

Kiemelt fontosságú a szakértő csapat kiválasztásánál a körültekintő eljárás, minden szakterületnek képviseltetni kell magát. Fontos a gondos előkészítés, és a hatáskörök pontos meghatározása. A munkatársak közötti kapcsolatok például dominancia, érdekérvényesítés. Az emberi kapcsolatok is nagyban befolyásolhatják a végeredményt. Ennek nem lenne szabad begyűrűzni az FMEA elemzésbe, de a nem megfelelő munkakapcsolat a termelés minőségében is megmutatkozik. Megfelelő munkakörnyezetet kell teremteni a szakértői csoportban való aktív hasznos munkára.

Ezeket a szempontokat mindkét kézikönyv leírja és megfelelően hangsúlyozza is, kivéve az



munkakapcsolatok hatásait a minőségre. Fontos megjegyezni, hogy a felelősség a csapatot terheli, ezért sokat számít a szakmai tapasztalat és tudás, valamint az hogy az adott folyamatra széleskörű rálátásuk legyen. Mindkét kézikönyv nyújt tanácsokat példákon keresztül az adott munkafázisnál a csapat összetételére és szükséges tudást illetően. Éppen ezért fontos lehet az FMEA tudatos kiválasztása attól függően, hogy melyik környezetbe szállítunk.

Végezetül felmerülhet a tisztelt Olvasóban a kérdés: Melyik eljárás alkalmazását javasoljuk? Azt, és csakis azt, amelyiket a megrendelő meghatározott. Amennyiben nincs ilyen konkrét-megrendelői követelmény, akkor azt tartjuk célszerűnek, hogy a vállalatunk, vagy személyünk az angol-szász, vagy a német kultúrkörhöz áll közelebb.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a különböző autóiipari többletkövetelmények által előírt kockázat értékelési metódusokat mutatta be. Egyben, egy példán keresztül, szemléltette az eljárások közti eltérésekből adódó különbségeket, az egyes módszerek sajátosságait. Fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy dolgozatunk célja „csak” a két eljárás minőségügyi szakmai szempontú elemzése, összevetése, nem azok rangsorolása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Beck Gabriella - Járműipari többletkövetelmények egyes területeinek összehasonlító elemzése.(2012)
- [2] Csőke Zita – A minőségtervezés alapjai (Tequa International Kft.) <http://www.mibi.hu/doc/APQP.pdf> (2013. 10. 05.)
- [3] European Standards, <http://www.en-standard.eu/> (2013. 10.01.)
- [4] Galla Jánosné – Minőségbiztosítás NGIII 3 előadás (2012)
- [5] Kantner, Rob: QS 9000 Válaszok könyve, Panem Kft, Budapest, 1999
- [6] Lehetséges hibamód és hatáselemzés (FMEA) Referencia kézikönyv 4. kiadás (2008)
- [7] Némethné Dr. Erdődi Katalin – Minőség fogalma, Kano filozófia, FMEA (2008)
- [8] VDA Minőségirányítás a gépjárműiparban – A minőség irányítása a sorozatgyártás előtt (2006)

Dudás Levente¹ – Pápay Levente² – Gschwindt András – Seller Rudolf³

A MASAT-1 AUTOMATIZÁLT ÉS TÁVVEZÉRELT FÖLDI VEZÉRLŐ ÁLLOMÁSAI⁴

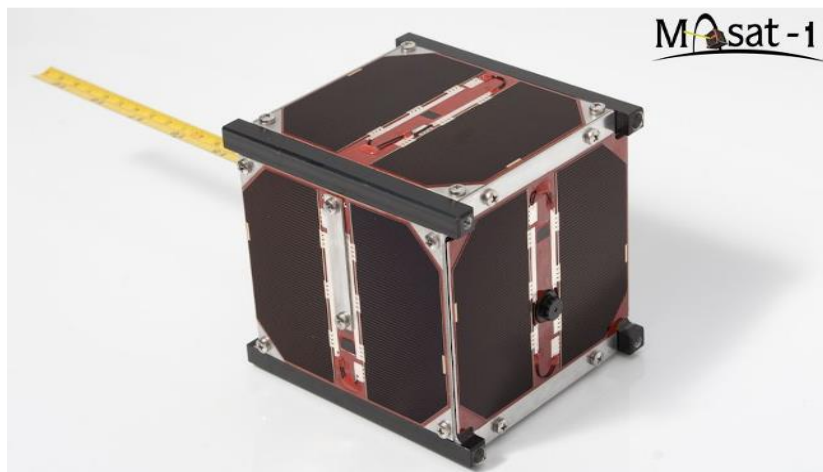
2007-ben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem egy hallgatókból álló csapata elhatározta, hogy megépíti Magyarország első műholdját, a Masat-1-et. 2012-ben az ESA (Európai Űrügynökség) első saját hordozórakétájával, a VEGA-1 első repülésén a Francia-Guyana-i űrközpontból indulva állt Föld körüli elliptikus pályára a Masat-1. Manapság a Masat-1 még mindig kifogástalanul működik, habár a tervezett élettartama 3 hónap volt. A következőkben bemutatjuk a teljes mértékben automatizált és távvezérelt földi vezérlő állomást melynek segítségével vezéreljük a Masat-1-et, illetve vesszük annak telemetria adatait.

Automated and Remote Controlled Ground Stations of Masat-1, the First Hungarian Satellite

In 2007, a group of students at Budapest University of Technology and Economics had decided to realize the first Hungarian satellite, called Masat-1. In 2012, Masat-1 was launched from French Guyana by VEGA maiden flight (the first really own rocket of European Space Agency – ESA) to an elliptical orbit. Nowadays, Masat-1 is still working, although the planned lifetime was only 3 months. Our aim was to develop a fully automated and remote controlled ground station (ground station network) for Masat-1 to be able to receive telemetry from, and send telecommands to the satellite without supervision.

MASAT-1

Magyarország első műholdja a Masat-1 egy 10×10×10 cm-es kocka alakú 998,5 g tömegű műhold – 1. ábra.



1. ábra Masat-1

¹ egyetemi tanársegéd, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, dudas@mht.bme.hu

² egyetemi hallgató, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, ha3pl.levi@gmail.com

³ egyetemi adjunktus, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, gswindt@mht.bme.hu, seller@mht.bme.hu

⁴ Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com



A Masat-1 a következő alrendszerekből épül fel:

- Energiaellátó rendszer (EPS – Electrical Power System): a kocka oldalait háromrétegű napelemek borítják, melyek a beeső napsugárzás következtében képesek biztosítani a szükséges egyenáramú bemeneti teljesítményt. Minden napelem oldalra független maximális munkapont követő áramkör került, amely viszonylag nagy műhold fordulatszám mellett is képes a napelemek munkapontját a maximális teljesítményű pontban tartani. Erre kapcsolódik egy akkumulátortöltő és felügyelő egység, hiszen a Föld árnyékos oldalán való áthaladás esetén is biztosított kell, hogy legyen a műhold energiaellátása. Az egyes alrendszereket egy további áramhatároló kapcsoló hálózat figyeli, biztosítva az esetleges részecskesugárzásból adódó túláramvédelmet.
- Fedélzeti számítógép (OBC – On-Board Computer): két, redundáns (hidegtartalékolt) mikrokontroller, amelyek utasítás végrehajtási sebessége 4 MIPS, belső memóriája 4 MB.
- Fél-aktív mágneses stabilizáló rendszer (ADCS – Attitude Determination and Control System): a műholdfedélzeten egy permanens mágnes és két elektromágnes segítségével változó mágneses eredő erőteret kialakítva a pályán való keringés során a Föld mágneses terébe kapaszkodva, az elektromágnesekben folyó áram változtatásával a műhold mozgásállapotát hivatott befolyásolni.
- Kommunikációs rendszer (COM – Communication System): a 437/145 MHz-es sávban működő digitális rádiókommunikációs rendszer, amely megteremti az adatkapcsolatot a földi állomásokkal, vagy a földi állomások rendszerével.

A KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZER

Teljesítményviszonyok [4-7]

A Naptól 150 millió km távolságban, a világűrben, pesszimista feltételezéssel élve 1000 W/m^2 teljesítménysűrűség mérhető, ebből a műhold 10 cm-es oldalaira vonatkoztatva 10 W elvi teljesítmény nyerhető. Ez a gyakorlatban a napelem oldalakra szerelt szenzorika és a csúszó-élek felületei miatt 60%-ára csökken, valamint a napelem 30%-körüli hatásfoka miatt tovább csökkenve átlagos 2 W-ra redukálódik. Ha figyelembe vesszük azt a tényezőt, hogy a műhold a keringése során egy kör alatt nagyjából 60%-ot tölt Napon, és 40%-ot árnyékban, akkor körülbelül 1,2 W DC bemeneti teljesítménnyel számolhatunk.

Ennek megfelelően egy fedélzetre helyezett rádióadónak a maximális teljesítmény fogyasztása nem lehet csak 1 W, hiszen a többi fedélzeti rendszernek is működnie kell valamiből.

A műholdfedélzeti rádióadó hatásfoka 40%, így az 1 W fogyasztott teljesítményből maximálisan 400 mW rádiófrekvenciás teljesítmény adódik (biztonsági okokból a rádióadó kimeneti teljesítménye két fokozatba kapcsolható, ez 100 illetve 400 mW RF teljesítményt jelent – a továbbiakban a kisebb RF teljesítménnyel számolunk).

A Masat-1 pályája egy 1450/300 km-es elliptikus pálya. Ha az adott földi állomás felett található az 1450 km-es földtávolsági pont, akkor a horizontra vonatkoztatva 4500 km távolságot kell áthidalni az említett 100 mW lesugárzott RF teljesítményből.



bemeneti adat		
részeredmény		
végeredmény		
a pálya legmagasabb pontja	1450	km
az áthidalandó távolság	4536	km
frekvencia	437	MHz
szabadtéri szakaszcsillapítás	158	dB
műhold adóteljesítmény	20	dBm
műhold adóantenna nyereség	0	dBi
földi állomás antennanyereség	10	dBi
földi állomás vett jelszint	-128	dBm
adatsebesség	1250	bit/s
2FSK vételi sávszélesség	2500	Hz
vételi termikus zajteljesítmény	-138	dBm
vételi jel-zaj viszony	9	dB

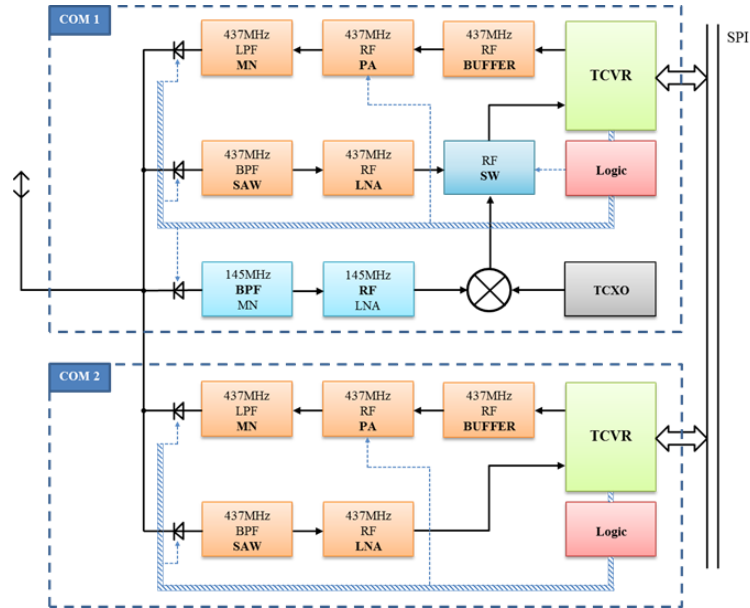
2. ábra A kommunikációs rendszer teljesítményviszonyai

A rádiófrekvenciás link egyszerűsített számítása látható a 2. ábrán. A számítás során szabadtéri terjedést feltételeztünk, valamint a földi állomás vevőantenna nyereségét 10 dBi-vel vettük figyelembe, amely valójában 22 dBi. Ez a fajta alulról becslés azért történt, mert egy adott földi vevő állomásnak nem biztos, hogy van olyan méretű és minőségű antennarendszere, mint a Masat-1 elsődleges földi vezérlő állomásának. Mivel a Masat-1 rádióamatőr műhold, hiszen rádióamatőr sávban dolgozik (437 és 145 MHz-es sáv), így számos rádióamatőrnek is lehetősége van venni a műhold jeleit, amihez egy szokványos rádióamatőr rádió és pl. egy 6 elemes Yagi antenna szükséges (ezért a 10 dBi) – világviszonylatban Masat-1 esetében 200 regisztrált rádióamatőr veszi a műholdunk jeleit, és küldi be a központi szerverünkre az általuk vett adatcsomagokat.

A számított vételi jel-zaj viszony értéke alapján az átviteli link zárul, amihez kb. 10^{-3} -os kódolatlan bit-hiba arány (BER) érték társul. Ez a gyakorlatban kiegészül adóoldalon egy $\frac{1}{2}$ -es kódarányú konvolúciós kódolóval, vevőoldalon pedig egy Viterbi-dekóderrel, amely után a tényleges BER két nagyságrenddel csökken.

A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer [4-7]

A műhold fedélzetén található kommunikációs rendszer felépítése látható a 3. ábrán.



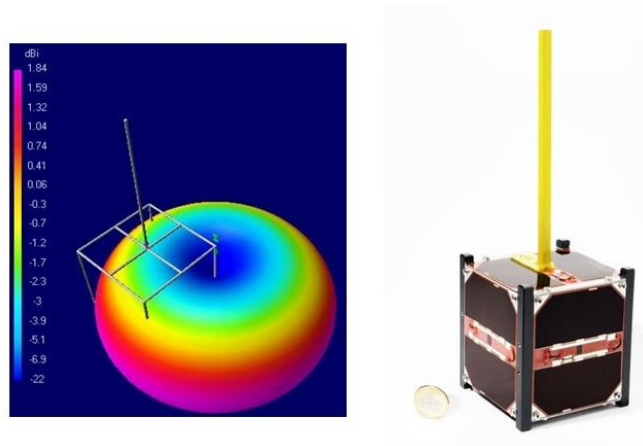
3. ábra A műholdfedélzeti kommunikációs rendszer felépítése

A műhold fedélzetén elhelyezett összes létfontosságú alrendszerből legalább kettő található, az egy-pont meghibásodásra való méretezés és a tartalékolás miatt, így a kommunikációs rendszer is két részre osztható: COM-1 és COM-2, melyek egymás hidegtartalékai.

Nemzetközi frekvenciaengedélyeztetési okokból a műhold két, egymástól független frekvenciasávon kell, hogy üzemeljen, ezek a 437 és a 145 MHz-es rádióamatőr sávok. Ahogy a 3. ábrán látható, két 437 MHz-es rádióadó, két 437 MHz-es rádióvevő és egy 145 MHz-es rádióvevő dolgozik időosztásban ugyanarra a monopól antennára. Az adó-vevők egy Silabs gyártmányú (volt Integration, magyar fejlesztés) egychipes digitális rádiós IC-n alapulnak, kiegészülve a szükséges szűrő, kiszajú előerősítő és megfelelő teljesítményerősítő fokozatokkal.

A műhold antennája [4-7]

A műhold antennája és az antenna 3D sugárzási karakterisztikája látható a 4. ábrán.



4. ábra A műholdfedélzeti antenna



Az 1U (1 unit) méretű cubesat mechanikai paramétereit szabvány rögzíti, amely meghatározza, hogy az egyes oldalakból milyen mértékben lóghat ki egy-egy fedélzeti eszköz. Emiatt kellett a kommunikációhoz szükséges negyedhullámú monopól antennát nyitni a műholdon található antennadobozból. Maga az antenna szokványos mérőszalagból készült, melynek kiváló mechanikai tulajdonságai vannak és a felületi égetett festékrétegnek köszönhetően még vákuumban sem jön létre a hideghegedés jelensége.

A FÖLDI VEZÉRLŐ ÁLLOMÁSOK

A műhold üzemeltetésére szolgáló helyiségek

A Masat-1 2012. február 13-ai felbocsátását követő időszakban kezdődött a műhold tényleges üzemeltetése.

Nem szabad elfelejteni az emberi tényezőkről sem. Nem lehet a földi állomás az egyetemről távol. Az állomást használók, a műhold felügyeletét végzők szabadidejükben, önkéntes alapon végzik munkájukat.

Összesítve: olyan helyet kellett keresni, amelyik a Műegyetem területén van, az antenna nyaláb számára az égbolt minden irányába szabad „kilátást” biztosít. Az előző feltételnek egyetlen épület, a BME E-épület teteje felel meg.

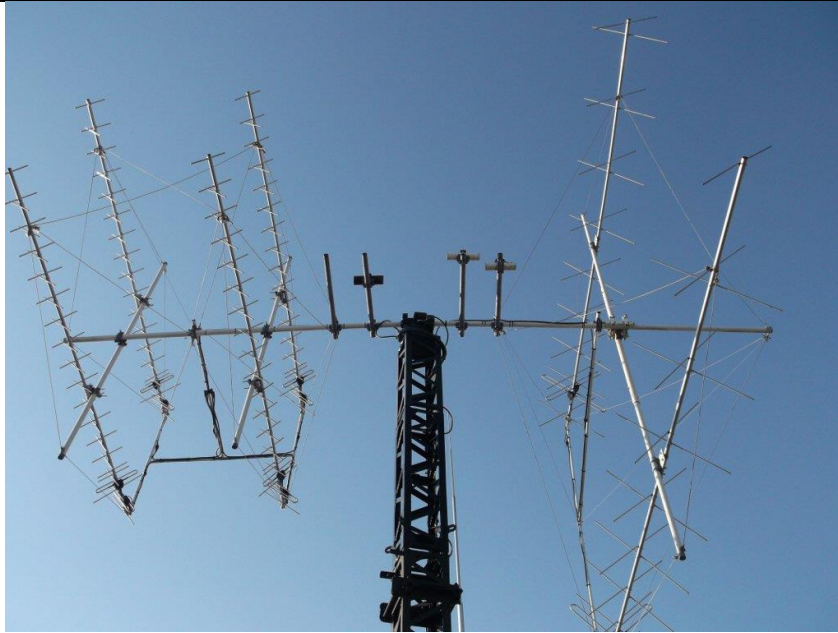
A városi környezetből adódóan viszont a környezet zaja illetve zavara nem elhanyagolható. Ezt tudomásul kellett venni, sikerült jól irányított antennával a zavaró hatásokat a tér meghatározott irányára koncentrálni (és egy elfogadható szintre csökkenteni).

Az antenna elhelyezésére a tetőn megfelelő szerelvények álltak rendelkezésre. Ezeket 20–30 évvel ezelőtt műholdak megfigyelésére használta a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék (az akkori Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék) Úrkutató Csoportja.

Az antenna kábeleivel az adó-vevőkre csatlakozik. A kábelvesztések csökkentik a vett jel szintjét (rontják a vevőlánc zajtényezőjét), ezért hosszukat a lehető legrövidebben kell tartani.

Ez azt jelenti, hogy a műholddal történő kapcsolattartáshoz szükséges adó-vevőket, számítógépeket az antennához közeli helyiségben kell elhelyezni.

A számításba jöhető helyiségek az E épület 11. szintjén helyezkednek el. Ezen a szinten a Mérnök-továbbképző Intézet (MTI) tevékenykedik. Berendezéseink elhelyezésére, egy éves időtartamra kaptunk tőlük egy helyiség használatot. A közös használat nem járt üzemeltetési hátránnyal, csupán néhány alkalommal kellett a teljes helyiség használatát az MTI számára biztosítanunk.



5. ábra Az elsődleges földi vezérlő állomás antennarendszere

Az antennák (5. ábra) és a helyiség közötti közel 40 méter távolság okozta a vevőágban a jel-szint csökkenését, az antennaforgató motor vezérlési problémáit megfelelő kábelek alkalmazásával sikerült minimalizálnunk.

Állomásunk a startot követő egy éven keresztül kifogástalanul üzemelt az MTI által biztosított „albérletben”. Előzetes számítások, becslések alapján a Masat-1 élettartama - legjobb esetben - néhány hétre, esetleg hónapra volt becsülhető. A gondos alkatrész válogatás, előzetes minősítések és nem utolsósorban a kifogástalan hőtechnikai tervezés a vártnál hosszabb élettartamot eredményezett (mind a mai napig működik).

Az MTI által biztosított helyiség (6. ábra) egyik oldalán helyezkedtek el a beltéri egységek (vezérlő, jelfeldolgozó számítógépek, kis szintű adó, tartalékkal ellátott vevő, tápellátás, monitorok). A felépítés kettős célt szolgált. Egyrészt el kellett látni a műhold vezérléséhez szükséges funkciókat, másrészt az **oktatást**, a földi állomás valamint a Masat-1 **bemutatóját** is biztosítani kellett.

Az adó jelét nagy szintre erősítő egységek, a vételi rendszer előerősítői, szűrői az E épület lift-házában helyezkedtek el. A két helyiséget koaxiális és nagy átmérőjű erősáramú (antennaforgató motorok táplálása) kábelek kötötték össze.



6. ábra A régi műholdvezérlő helyiség - MTI

Egy év után az MTI joggal kérte, hogy költözzünk ki. A kiköltözést többek között az is indokolta, hogy egyre gyakrabban kellett a helyiséget oktatási célra is igénybe vennünk, bemutatva Masat-1 működését, jeleinek analizálását egy-egy 10-20 főből álló egyetemi hallgatói csoportnak (a helyiség a méreteiből adódóan nem volt alkalmas 10-20 fő fogadására).

A helyiség elhagyására csak akkor kerülhetett sor, ha találunk másikat, az üzemeltetéshez és a bemutató állomásnak is megfelelőt.

Felmerült olyan lehetőség is, amellyel az állomás berendezéseit zárt, fém szekrényekben helyeznénk el a külső tető szinten. Ezt elvetettük, mert ezzel kizártuk volna az oktatásba történő bevonás lehetőségét. Hallgatókat nem vihetünk a tetőre életvédelmi okokból.

Az E épület korszerűsítésével kiürültek gépészeti helyiségek a liftházban. Ezek az antenna közelség szempontjából jobb helyen voltak, mint az MTI által biztosított helyiség. Nem volt más megoldásunk, mint az állomás áthelyezése az egyik, meglehetősen „lerobbant”, felújításra szoruló liftházba (pontosabban annak egy részébe).

A villámok elvezetése

A helységváltotatással együtt merült fel a villámok elvezetésének problémája. Addig, amíg a vételi hely az épület alacsonyabb szintjén, az antennáktól távol helyezkedett el, ez a berendezésekre nézve nem jelentett veszélyt, illetve a túlfeszültség védelem egyszerűen megoldható volt.

Az antennák azonban az E épület legmagasabb pontját jelentik. Ahogy ez várható volt, 2012 nyarán, az antennánkat villámcsapás érte. A nagy nyereségű antenna rendszer negyede megsemmisült, a teljes rendszer használhatatlanná vált.

A régi tervezési elveknek megfelelően valamennyi, a tetőn lévő szerelvény elektromosan ekvipotenciálissá van téve. A becsapó villám útja az antennánkon keresztül a földbe vezetett.

Az antennák javítása után, az új helység elhelyezkedését is figyelembe véve kellett a régi rendszerhez igazodó, az antennáinkat védő villámelvezetési rendszert kialakítanunk.

Ennek első lépése az antennák védelme volt a közvetlen villámcsapástól. Miután szponzoraink

biztosították a pénzügyi háttérrel, három a tető fölé 14 m magasan kinyúló villámlevezető oszloppal (nagy valószínűséggel) biztosítottuk a villámok útját.

Egy villámvédelmi felfogó képét mutatja a 7. ábra.



7. ábra A villámvédelmi levezető

Ezzel a villámcsapások közvetlen romboló hatásától mentesültünk.

A három villámvédelmi felfogó az új vezérlő állomást magába foglaló helyiség mellett áll, valamint méretéből adódóan az épület így a környék villámvédelmi szempontból legmagasabb építményévé vált.

Villámcsapás esetén akár 30–50 ezer Amper is folyhat a föld felé. Ennek közvetett hatásaként a környezetében, a helyiségen belül lévő vezetékekben igen nagy feszültség indukálódhat (ezek a vezetékek akár a berendezések belsejében is lehetnek), ezért a hozzájuk kapcsolódó berendezést tönkretelhetik, nem beszélve a helyiségben tartózkodó személyzetre gyakorolt élettani hatásokról.

Az új vezérlőállomás villámvédelme

A föld felé haladó villámok árama által keltett mágneses tér elleni védelem klasszikus megoldása a védendő helyiség mágneses árnyékolása. Erre a célra legjobban megfelel a falak vaslemezrel történő borítása. Ez az ún. Faraday-kalickás védelem mely erősen lecsökkenti, árnyékolja a külső mágneses tér hatását.

A lemezes védelem helyett megfelelő mértékű védelmet biztosít a sűrű vashálós megoldás is. Esetünkben 5x5 cm-es, 6 mm vastagságú acél hálót használtunk a lemezborítás helyett. Természetesen a hatásos védelemhez hozzátartoztak a vaslemez borítású ajtók és a rácsozott ablakok is. Az árnyékolt térrészbe nem vihetünk be illetve ki elektromos vezetékeket sem. Ez gondot jelentett a motorokat tápláló kábelek kivezetésekor illetve a nagyfrekvenciás koaxiális kábelek

esetében. A szerelés közbeni állapotot mutatja a 8. ábra.



8. ábra A bemutató állomás helyisége a Faraday-kalickával

Az acél hálóból kialakított struktúra esztétikussá tétele gipszkarton borítással történt.

Röviden szólva a Faraday kalickás megoldás megvédi a beltérben elhelyezett, kikapcsolt állapotban lévő berendezéseket, de nem oldja meg az állomás üzemét a villámlások ideje alatt!

Az elrendezés nem alkalmas az állomás felügyelet nélküli üzemére, hiszen a ki- és befutó vezetéseket bontani kell, amikor a kezelő személyzet távozik az állomásról. A felügyeletmentes, automatizált üzemeltetés megvalósításához más megoldáshoz kellett folyamodnunk.

A két, egymástól függetlenül működtethető állomás elve

A Masat-1 vezérlő állomásnak kettős feladatot kell ellátni:

Egyrészt, a nap 24 órájában biztosítani kell a műhold jeleinek vételét, feldolgozását és az esetleges, rádió útján történő beavatkozást, a fedélzeti rendszerek vezérlését, parancsok felvitelét.

Másrészt az egyetemi oktatás részeként lehetőséget kell adnia hallgatóknak, a műhold működésének, vezérlésének tanulmányozására, a kutatóknak, oktatóknak az állomás üzemeltetésére, kutatási feladatok ellátására.

Olyan állomás kialakítást kellett biztosítani ahol egy-egy hallgatói csoport számára előadást, élő bemutatókat lehet tartani. Az égi mechanika alapjainak bemutatásához, a műhold mozgásának követéséhez szükség van nagy felületű monitorok beépítésére is.

A vezérlő állomásnak azonban üzemelni kell olyan esetben is, amikor viharos, villámokkal tértelt az időjárás. Ezen feltétel csak speciális elrendezéssel teljesíthető.

Így alapvetően két részre bontható az állomásunk: első a Faraday kalickával védett tér, ahol a bemutatók is tarthatók, második pedig a tetőn levő rack szekrényekből kialakított automatizált állomás (ahol emberek üzemszerűen nem tartózkodnak).

A villámok okozta gondok miatt a Faraday kalickával védett térben csak vihar, villámmentes időszakban történhet üzemeltetés (manuálisan, ha szükséges). A helyiség méretéből, alakjából adódóan 10 fő hallgató vagy bemutatót látogató vendég számára van elegendő hely. A szoba egy része az előadó, másik része az állomást kezelők számára van fenntartva.

Az oktatást, kutatást segítő elrendezés – az emberi tartózkodásra alkalmas védett tér

Az „L” alakú védett (vashálóval borított) helyiség elrendezése két részre osztja a teret.

Az „L” hosszabbik ága, tíz fő fogadására alkalmas. A tíz szék bármelyikéről jól látható a nagyméretű monitoron megjelenő kép. Az osztott képernyő a Föld vetületén mutatja a műhold mozgását. Szélén az antennák kamerák által közvetített képe jelenik meg, lehetővé téve mozgásuk követését. Az elrendezést mutatja a 9. ábra.



9. ábra A bemutató állomás helyisége

Az előadó számára a monitor mellett van hely (az „L” rövidebb ága - 10. ábra).

A vezérlőállomás oldalsó részében a műholdak vételéhez, vezérléséhez szükséges berendezések helyezkednek el. Két munkahelyről tekinthetők át a monitorok, kezelhetők a számítógépek, vevő berendezések (10. ábra).



10. ábra A helyiség előadói része

Az elsődleges automatizált és távvezérelt földi Masat-1 vezérlő állomás felépítése – a tető szinten [1-3, 8-9]

Azért, hogy az automatizált és távvezérelt állomás teljes mértékben (főként villámvédelmi szempontból) független tudjon lenni az épület energiaellátó elektromos hálózatától, támogatóink segítségével egy független, szigetüzemű autonóm energiaellátó rendszert alakítottunk ki.

Az energiaforrás 4 darab 240W-os napelemtábla az alacsonyabb tetőszinten - 11. ábra



11. ábra A napelemes energiaellátó rendszer

A napelemekből jövő energia tárolására szolgál 4 darab 100 Ah 12 V ólomakkumulátor (akkumulátor rack a napelemek szintjén – 12. ábra – jobbra fent látható a fekete színű töltésvezérlő amely a napelemek és az akkumulátor egység közé kapcsolódik).



12. ábra Az akkumulátorok

A névleges 48 V-os akkumulátorfeszültségből egy 48 V/230 V-os inverter állítja elő a szigetüzemű 230 V-os hálózati feszültséget több, mint 1 kW-os terhelhetőség mellett - 13. ábra.



13. ábra A 48/230 V-os inverter

A liftgépház tetején található az antennarendszer és az egyes rádiófrekvenciás sávokhoz tartozó berendezések számára fenntartott rack-szekrények.

Az elsődleges földi vezérlő állomás antennarendszere a forgatóon látható a 14. ábrán.



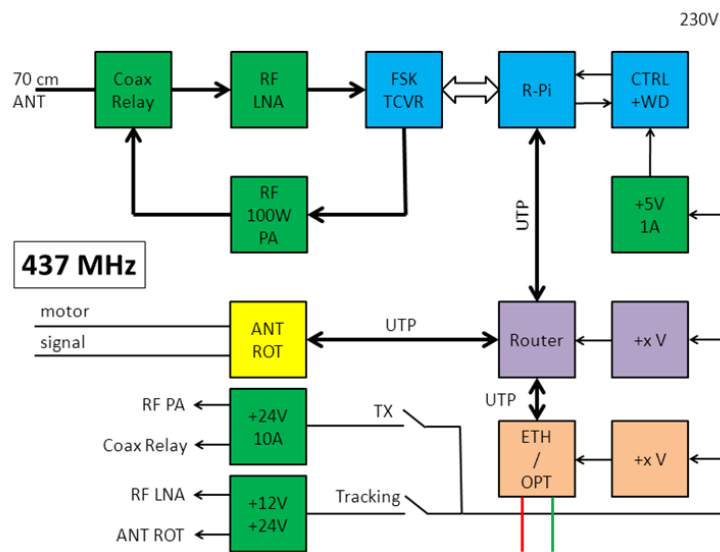
14. ábra Az antennarendszer a forgatóval

Az antennarendszer talppontjában található rack-szekrények (balra a 430-440 MHz-es sávra, jobbra a 144-146 MHz-es sávra) láthatóak a 15. ábrán



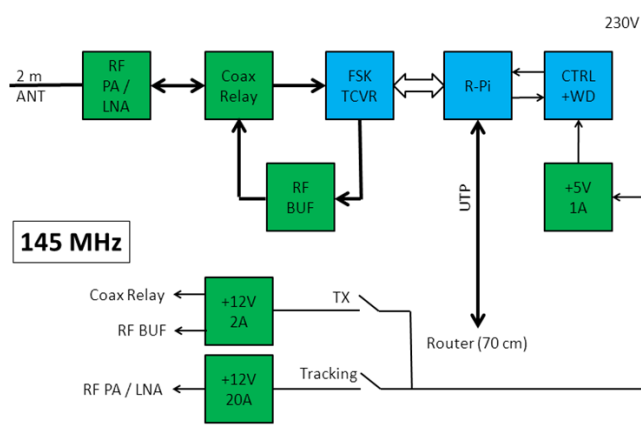
15. ábra A RF rack szekrények az antennarendszer talppontjában

A 430-440 MHz-es RF ághoz tartozó távvezérelt és automatizált adó-vevő rendszer felépítése a következő (az adatok optikai szálon keresztül az Internetre kapcsolva, tápellátás a szigetüzemű 230 V-os hálózatról) – elkészült, szeptember eleje óta üzemben - 16. ábra.



16. ábra A 437 MHz-es RF adó-vevő rendszer felépítése

A 144-146 MHz-es RF ág (az említett jobb oldali rack) felépítését mutatja a 17. ábra.



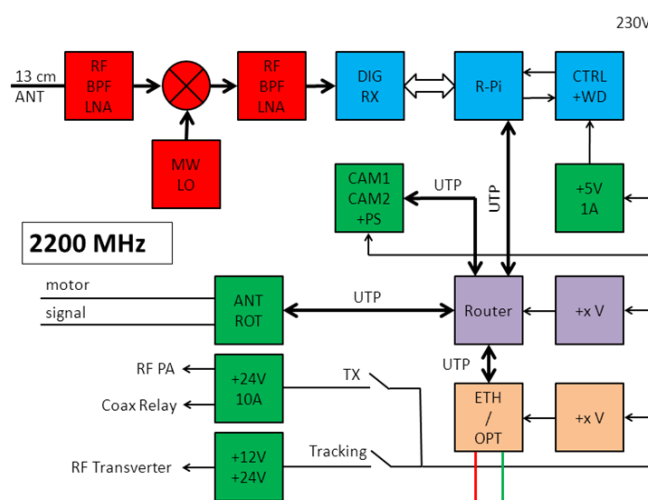
17. ábra A 145 MHz-es RF adó-vevő rendszer felépítése

Egy régi, még a BME V2 épületről megmentett parabola – e helyére kerül egy 3 méter átmérőjű rácsparabola, 2,4 GHz-es üzemre valamint a hozzá tartozó kültéri rack szekrény illetve a már meglévő 0,2 fokos beállási pontosságú antennaforgató - 18. ábra.



18. ábra A 2,4 GHz-es RF adó-vevő antennája

A 2,4 GHz-es ág vevőoldalának felépítését mutatja a 19. ábra.



19. ábra A 2,2 / 2,4 GHz-es vevőág felépítése

A másodlagos Masat-1 földi vezérlő állomás

A felújítás illetve átépítés ideje alatt a hivatalos másodlagos vezérlő állomásról – Érd - történt a Masat-1 üzemeltetése (a tartalékolás, mint alapelv, a földi vezérlő állomások viszonylatában is érvényes).

A másodlagos vezérlő állomás antennarendszere látható a 20. ábrán a G5500-as antennaforgatóval.



20. ábra A másodlagos földi vezérlő állomás antennája



ÖSSZEFOGLALÁS

A Masat-1, mint Magyarország első műholdja a 2012. február 13-ai felbocsátást követően megkezdte működését. A tervezett 3 hónapos élettartamhoz képest mind a mai napig lényegében kifogástalanul üzemel (természetesen különböző napszéltevékenységek és részecskesugárzások következtében történtek fedélzeti zavarok, azonban a redundáns és hibatűrő fedélzeti rendszerek ezeket a zavarokat megfelelően kezelni tudták – eddig).

A Masat-1 működtetéséhez két egymástól független, de rendszerbe kapcsolható, távvezérelt és teljes mértékben automatizált, valamint autonóm energiaiellátással rendelkező földi vezérlő állomást alakítottunk ki, amely 2013. nyara óta megkezdte működését.

Az elsődleges földi vezérlő állomás viszonylatában egy bemutató, az oktatást és a kutatást segítő állomást alakítottunk ki, amely az elmúlt időszakban több, mint 30 alkalommal fogadott hallgatói és látogatói csoportokat (10-12 fő / csoport).

Köszönetnyilvánítás

A Masat-1 automatizált és távvezérelt földi vezérlő állomásainak kialakítása a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium támogatásával valósult meg (a szerződés száma: ED_13-1-2013-0003).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PROAKIS, J. G. "Digital Communications" Fourth Edition, McGraw Hill Higher Education, 2004
- [2] RODDY, D., "Satellite Communications" Fourth Edition, McGraw Hill Higher Education, 2006
- [3] BALANIS, C. A., "Antenna Theory: Analysis and Design", Wiley-Interscience, 2005
- [4] LEVENTE DUDÁS, LAJOS VARGA, RUDOLF SELLER, "The Communication Subsystem of Masat-1, the First Hungarian Satellite", Signal Processing, Symposium. Jachranka, Poland, 2009, pp. 1-4.
- [5] CSÁSZÁR JÁNOS, DUDÁS LEVENTE, "Rádiós kapcsolat a Nemzetközi Űrállomással és a Masat-1 – az első magyar műhold – kommunikációs alrendszerének tesztje", Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem – Kommunikáció 2009, Budapest 2009. pp. 1-4, Paper KOM2009-4.
- [6] LEVENTE DUDÁS, LAJOS VARGA, "Masat-1 COM", Antenna Systems & Sensors for Information Society Technologies COST Action IC0603, Dubrovnik, 2010
- [7] DUDÁS LEVENTE, VARGA LAJOS, "MaSat-1 – az első magyar műhold kommunikációs alrendszere – pályára állás, műhold vétel és vezérlés, üzemszerű működés", Repüléstudományi Közlemények, pp. 652-673, 2012
- [8] <http://www.raspberrypi.org/> - Raspberry Pi Linux based card-computer.
- [9] <http://www.silabs.com/products/wireless/EZRadioPRO/Pages/default.aspx>

Békési Bertold¹

FORGÓSZÁRNYAS LÉGIJÁRMŰVEK TÖRTÉNETE 1907-IG²

A repülés utáni vágyakozás olyan ősrégi, mint maga az emberiség. Az ember évezredek óta vágyakozik, hogy meghódítsa a levegő birodalmát, hogy úgy repüljön, mint a madarak, ennek eszközei pedig a légi járművek. Sokan megpróbálkoztak vele, sikertelenül. A repülés sajátosságos módjának tűnik a függőleges fel- és leszállás, sőt a lebegés ég és föld között. Az írásmű célja a forgószárnyas légi járművek történeti áttekintése a kezdetektől egészen 1907-ig, amikor is a francia Paul Cornu pár pillanatra felemelkedik a levegőbe kétrotoros helikopterével.

HISTORY OF ROTARY-WING VEHICLES UNTIL 1907

After the flight I'm so old as humanity itself. Man yearns for centuries to conquer the realm of air. Many people have tried it, without success. This means the aircraft. Flying is one of the most typical way of vertical take-off and landing. The paper will review the historical purpose of rotorcraft from the beginning until 1907, when the French Paul Cornu lifted into the air for a few moments twin-rotor helicopter.

„Ha egyszer megízlelted a repülést, utána úgy fogsz járni a földön, hogy szemed az eget fürkészi, mert ott voltál fent és oda vágysz vissza.”

Leonardo da Vinci³

MONDÁK ÉS LEGENDÁK

A repülés gondolata több ezer évvel ezelőtt született meg az emberek fejében. A madarak szabadrepülése az ember szemében olyan kihívás, amely egyre újabb és újabb kísérletekre ösztönzi.

Rajzok és szobrok formájában gyakran ábrázolták az emberi alakokat szárnyakkal az ókori egyiptomiak (i.e. 2000–3000 évvel). Hasonló motívumok találhatóak más nemzetek ősi műemlékein, mint például az asszír-babiloni, majd később a görögöknél és a rómaiaknál. Az első történelmileg hiteles repülési kísérletet a mondák hosszú sora előzi meg. A legrégebbi ezek közül az ókori kínából származik. **Sun** császár (i.e. 2258–2208) a monda szerint fiatal korában fogságba esik, ahonnan úgy szabadul, hogy a börtön tornyából két nagy ernyővel ugrik le. Olyan lassan ereszkedik, hogy sértetlenül ér földet, így elmenekül.

Másik ilyen legenda i.e. 852-ben **Bladud** (mondabeli angol király) szárnyakat kötöz magára és palotájának egyik magas tornyából a mélybe ugrik. A király Apollo templomára zuhan és szörnyethal.

A görög mitológiából jól ismert az a történet, amelyben **Daidalosz** és fia **Ikarosz**, úgy próbáltak megszabadulni Kréta királyának, Minósznak a fogságából, hogy az ezermester Daidalosz viaszból

¹ egyetemi docens, PhD, katonai műszaki tudományok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

² Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com

³ Leonardo da Vinci: http://www.citatum.hu/szerzo/Leonardo_da_Vinci/2 (2014.03.14)

és madártollakból szárnyakat készített a maga és fia számára. Ovidius római költő az Átváltozások című művében a következőket írja Muraközi György fordításában: ... És oktatta fiát, így szólva: Repülj a középben, Icarus, intlek, mert tollad, ha nagyon leereszkedsz, elnehezíti a víz, túl fent meg a Nap tüze éri ... Az intelem azonban nem használt. Ikaroszt magával ragadta a repülés má-mora, feljebb, egyre feljebb vágyott, mígnem bekövetkezett a végzet: a Nap heve megoldvasztotta a viaszt, és a becsvágyó ifjú a tengerbe zuhant.

Wissmann: A repülés története Ikarosztól napjainkig könyvében egy germán mondáról ír. Ebben egy Wieland nevű kovácsról szól, amely az ún. Thidrek-monda része. Welent (Wieland) a jütlandi király udvarának híres kovácsa, aki urának a legendás Mímung-kardot kovácsolta. Viszály tör ki közte és Nidung király közt. A király Welent lábán az inakat elvágatja, hogy örök rabságban tarthassa őt. A kovács segítségül testvérét Egilt kéri meg, hogy gyűjtsön neki sok-sok madártollat. Ezekből sas-forma szárnyakat készít és testvérét megkéri, hogy próbálja ki azokat, tanácsokkal ellátva: „Széllel szembe szállj fel, magasra is meg messzire is repülj, de széliránt szállj le a földre.” A repülés olyan jól sikerül, hogy közben azon töpreng hogyan tarthatná meg a szárnyakat, de leszálláskor nagyot esik, majdnem elájul. Ezután Welent köti magára a szárnyakat, és a magasból így szól vissza testvéreinek: Félrevezettelek, amikor azt mondtam széliránt szállj le, nem bíztam benned, féltem nem adod vissza a szárnyat. Tudhattad volna, hogy a madarak széllle szembe szállnak fel is meg le is és hazarepült.

A monda azt bizonyítja, hogy már ilyen régi korokban is pontosan megfigyelték az emberek a madarak röptét.

REPÜLÉSI KISÉRLETEK

Az ókorban és a középkorban még kevés írástudó ember akad, így a kísérletek történeteit a szóhagyomány adja tovább. Wiessmann könyvében eképpen írja [68]:

Az első évszázadban (i.sz. 75–150) Suetonius történetíró Nero római császár élettörténetében a következő megjegyzést teszi: „Egy Ikarosz alighogy repülni kezdett ... a magasból máris Nero sátra mellé hullott és vérével öntözte a császárt.”

Ugyanakkor Galántai: A csapkodószárnyas repülőgépek története [12] című könyvében pedig a következőket írja:

„Simon mágus a hagyományok szerint Kr. u. 67-ben Nero (Kr. u. 54–68) szeme láttára zúzta volna halálra magát: “Az egyik műsorszám Icarusa, mihelyt felszállt – írja Suetonius (Kr. u. 69–122) kb. 50 (!) évvel az események után –, nyomban lezuhant Nero heverője mellett, még a vére is ráfröccsent a császárra.” Egy keresztény forrás (az Acta Petri et Pauli) azt véli tudni, hogy Simon egy fa tetejéről elrugaskodva és szárnyaival csapkodva haladt előre, ám amikor a Nero villája melletti szent úthoz ért, a nyakát szegte (talán az út szentsége volt rá ilyen hatással).”

Tehát mintha csak a Daidalossal kapcsolatos hagyományok elevenednének meg ezekben a leírásokban.

Bödök [7] könyvében a következő eseményt említi meg: *Az arab krónikákban Abu Kvázim Abbasz ben Firnász repülési kísérletéről maradtak leírások, aki 880 körül Córdobában „testét tollakkal fedte be, hátára két szárnyat kötött, azután egy magaslatra ment, és leugrott on-*

*nét”. Az esemény végkifejletéről ugyan hallgat a krónika, annyit azonban megkockáztathatunk, ha a derék arabunknál nem volt tartalékban egy repülő szőnyeg is, akkor kísérlete szó szerint út-törő lehetett. Valamikor az első évezred fordulóján a perzsiai **Nisapurban Al Gabari**, karjaira deszkalapokat erősítve, próbált meg egy mecset tetejéről alászállni; életével fizetett vakmerőségéért. **1120-ban Oliver of Malmesbury** Benedek-rendi szerzetesnek állítólag már sikerült karjára-lábára kötözött szárnyakkal néhányszor tíz métert odébblibbennie, de ő is lezuhant és combját törte. Néhány évtizeddel később Konstantinápolyban egy **Agarenius** nevű szaracén törte magát össze egy hasonló meggondolatlan próbálkozás során.*

Ezen történetek is és Galántai [12] írásai megerősítik, hogy azokban az időkben az emberek foglalkoztak a repülés gondolatával. Azonban ezen történetek és más forrásokból lehet megítélni, hogy az embereknek akkoriban még meglehetősen ismeretlen volt a repülőeszközök építése és semmilyen komolyabb kísérletet ebben az irányban nem tudtak felmutatni. A legendában és a képi ábrázolásokban is mindig találkozunk a madár szárnyainak utánzásával, de a leginkább technikailag is korrekt kivitelek az ókori egyiptomiakhoz fűzhető. Évszázadok teltek el anélkül, hogy valami új történt volna a fejlődés területén.

„A jármű ötlete, amely képes függőlegesen felemelkedni a földről és mozdulatlanul lebegni a levegőben, valószínűleg akkor született, amikor az ember először álmódott a repülésről.”

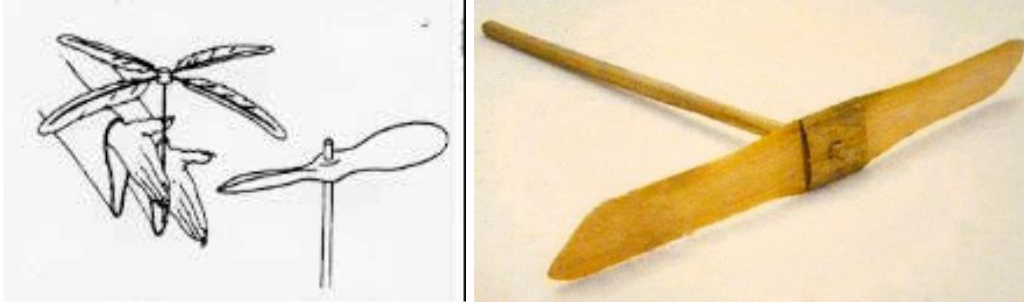
Igor Ivanovics Sikorsky

KORAI HELIKOPTER TÖRTÉNELEM – KORAI KONCEPCIÓK

A forgószárnyas repülés első koncepciója a kínaiak nevéhez fűződik, amely az i.e. negyedik századra tehető.⁴ A helikopter alapötlete – repülés a forgó vízszintes szárnyakkal vagy „rotorok” segítségével – egy egyszerű találmány, melynek legkorábbi változata az úgynevezett „kínai pörgettyű” (Chinese top), amely állt egy botból végén egy rotorlapát (lásd 1.ábra), melyet gyorsan a kezeink között fel kellett pörgetni, így létrejött a felvonó erő, majd ennek eredményeként a levegőbe emelkedett és megjelent a repülés, amely még mindig él a mai különböző formákban [2][15][42].

Ezen játékokat valószínűleg természeti megfigyelések ihlették, mint például Kínában a fügefá, hazánkban a hársfa termése, mely örvénylő, autorotáló mozgást végez a szélben [22][24]. A helikopter alapelve tehát a természetben is megfigyelhető volt, a jelenséget ma autorotációnak nevezzük.

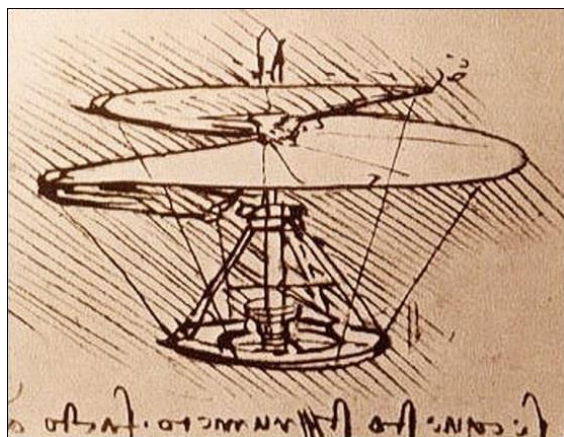
⁴ A "Pao Phu Tau" könyvben a "Mester" leírja, hogy egy "repülő autó" (Fei chhe) fából a belső részén a jujuba fa a visszatérő lapátok ökör bőr pántokkal rögzítve, hogy a gépet mozgásba állítsa be (Huan Chien i yih chhi chi). Ez az első rögzített írásos minta, a helikopterről [49].



1. ábra Chinese top⁵

A játék végül eljutott Kínából Európába festményeken, amely visszanyúlik egészen 1463-ig. Időben eljutottunk a reneszánsz korához, az egyetemes művészet egyik legnagyobb alakjához, Leonardo da Vincihez (1452–1519). Az itáliai festő, szobrász, építész, mérnök és feltaláló foglalkozott matematikával, fizikával, anatómiával, optikával, mechanikával és nem utolsósorban gépek konstruálásával is. A repülés kérdése is érdekelte, tanulmányozta a madarak röptének mechanizmusát, és számtalan rajz maradt utána különféle repülő szerkezetek terveiről [7].

Az akkori idők általános felfogásával összhangban Leonardo is úgy gondolja, hogy legegyszerűbben a madarak utánzásával lehet a levegőbe emelkedni. Leonardo a repülésről rengeteg vázlatot hagyott hátra, amelyek összesen kb. 160 lap terjedelemben különféle kézírataiban található, melyeket tükörírással írt. Ezek nagytöbbségét az 1505-ben írt a madarak röptével foglalkozó kódex ‘Codex Atlanticus’ tartalmazza. Ezt a tanulmányt négy könyvre osztja: 1. madárrepülés-sel; 2. siklórepüléssel; 3. rovarok, állatok és halak röptével; 4. a repülőszerkezetek építésével foglalkozik [68]. Vázlatai között találni izomerővel működtetett helikoptert, ejtőernyőt és merev szárnyú siklórepülőt is, jóllehet ezek sohasem készültek el. Érdekes módon a helikopter típusú légcsavaros szerkezet ötlete régebbi a klasszikus, szárnyas repülőgépekénél, ugyanis már Leonardo da Vinci fennmaradt rajzai közt is találunk egy hasonló légi járműre utaló vázlatot [7].



2. ábra. Leonardo da Vinci kézírata⁶

⁵http://4.bp.blogspot.com/-CPIhUPIzXCk/Ua-hRRRfnaI/AAAAAAAAA-M/fF2fZeg8o-w/s1600/propeller_web.jpg (2014.03.09)

Pedro Castillo, Rogelio Lozano and Alejandro E. Dzul: Modelling and Control of Mini-Flying Machines. Springer-Verlag London Limited 2005. http://api.ning.com/files/G1ksd8afs89keSgcy3fYDWtjKd9Y-Y*j0aqP3cpvmFMa9AvPi8ZWRLKwikam9-Ok4N2X7sTTBEeh75SaWpaFA_/ModellingandControlofMiniFlyingMachines1.pdf (2014.03.09)

1483-ban Leonardo da Vinci egy olyan szerkezetet tervezett (lásd 2. ábra), amely forgásba hozva a levegőbe emelkedik. Egyes szakértők úgy azonosították a légi járművet, mint a helikopter őst.

A helikopter (pontosabban a légcsavar), amelynek átmérője 8 m véleménye szerint működött is volna, a gyakorlatban azonban nem sok eredményt érünk el ezzel a konstrukcióval. A fő gondolat az volt, hogy ha egy csavaralakú szerkezetet gyorsan forgatnak az a levegőbe emelkedik (3. ábra). Leonardo da Vinci sokak által ismert helikopter elképzelése az első függőlegesen felszálló repülőeszközt ábrázolja. Ellentétben a modern helikopter forgószárny lapátjaitól, a szerkezetnek a levegőbe kellett volna emelkednie a XV. században a jól ismert Arkhimédeszi csavar segítségével. Annak ellenére, hogy a légcsavart kézzel kellett feltekerni, Leonardo da Vinci hitt a terve megvalósíthatóságában és így írja le: „... Azt tapasztaltam, hogyha ezt a csavar alakú szerkezetet jól készítjük el, vagyis olyan vászonból csináljuk, amelynek pórusait keményítőcsirizzel eltömítettük, akkor az gyors forgatásra a levegőbe csavarodik és fölemelkedik.” [2][14][15][16][21][26][44][45][46][49][59][63][68].



3. ábra. Leonardo da Vinci légcsavar makettje⁷

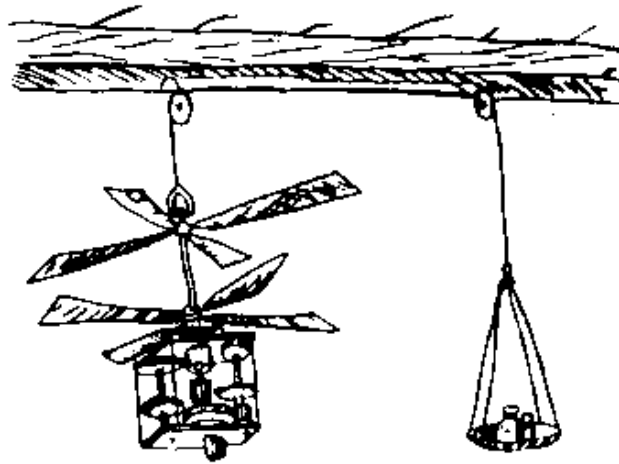
Ezek a tervek még nem voltak tökéletesek, mint minden első javaslat. Az ernyőn nem volt speciális nyílás a kupola tetején, amely biztosította volna a stabil süllyedést, továbbá a helikopter tervezésekor figyelmen kívül hagyták a reaktív nyomatékok hatását a légcsavar forgásától, amely forgatta volna a szerkezet alján elhelyezett konstrukciót. A légcsavar alakja sem volt a legjobb. Ennek ellenére mindkettő kiemelkedő műszaki előrelátásról tanúskodott. Leonardo da Vinci nagyszerű ötletei sokáig ismeretlenek maradtak, mivel a kutatásai eredményeit nem publikálta. Végeredményül, amire rájött Leonardo néhány évtizeden belül, az elhúzódt egy egész évszázadra [63].

⁶ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Leonardo_da_Vinci_helicopter.jpg (2014.03.14)

⁷ Leonardo da Vinci megépített találmányai Budapesten

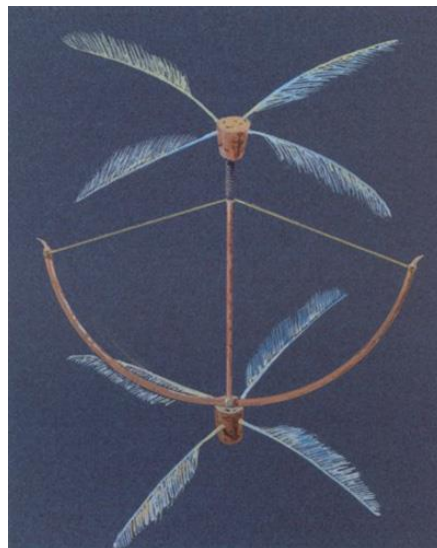
<http://archiv.magyarso.com/arhiva/2005/04/18/kepek/vincilegcsavar.jpg> (2014.03.09)

1754-ben Mihail Lomonoszov épített egy mechanikus rugó-alapú eszközt (óramű meghajtású helikoptert lásd 4. ábra), amely csigákon átvetett kötélén függő ellensúly segítségével képes a függőleges felemelkedésre és néhány pillanatra a lebegésre [17][22][33][48].



4. ábra Lomonoszov helikoptere⁸

1783-ban két francia a természettudós Christian de Launoy és a gépész Bienvenu segítségével egy koaxiális változatú szerkezetet hozott létre (lásd 5. ábra). Ezt a modellt a célszerűség és az egyszerűség jellemzi, a „kínai pörgettyű” („chinese top”) alapelve inspirálta [59]. Légszavarral négy-négy nagy madártoll szolgál, amelyet kissé rézsútosan egy dugóba tűznek. A hajtóerőt egy feszesre húzott íjjal állítják elő. Ha az emelőcsavarokat egymással ellentétes irányban forgatják, úgy ez a „helikopter” egészen addig emelkedik egyre feljebb a levegőbe, amíg az íj meg nem ereszkedik. Ezután a szerkezet lassan visszalibeg a földre [68]. Ez a tudományos kísérlet, két kis légszavarból állt egy rúd végén és egy íj feszülése adta mozgatóerőt, ami bámulatba ejtette a Francia Tudományos Akadémia tagjait 1784-ben.



5. ábra Launoy és Bienvenu szerkezete⁹

⁸ <http://ram-home.com/ram-old/ma-03.gif> (2014.03.12)

⁹ <http://www.helicopassion.com/images/Livres/HLG01t.jpg> (2014.03.12)

1786-ban, a francia matematikus Paucton kiadott egy könyvet „Theorie de la vis D'Archimedes”, amelyben javasol egy ember-szállító repülő gépezetet, és két légcsavart az egyiket a felvonóerőhöz másikat a meghajtáshoz. [21][46]

Az első ember, aki tudományos szintre emelte a repüléssel való foglalkozást egy angol kutató volt – Sir George Cayley (1773. dec. 27–1857. dec. 15). Számos aerodinamikai kísérlettel a háta mögött, rájött, mi a levegőbe emelkedés titka. Megfogalmazta a felhajtóerő, az ellenállás és a tolóerő alaptörvényszerűségeit. A 18. század végére Cayley több sikeres függőleges repülésen alapuló modellt készített. Ő tervezte és épített egy örvénylő-kar eszközt 1804-ben, ami valószínűleg az egyik első tudományos kísérlet, hogy tanulmányozza a szárnyakat emelő aerodinamikai erőket. Cayley (1809–1810) közzétett egy három részből álló tanulmányt, amelyben meghatározta az aerodinamika alapjait.

További sikeres helikoptermodelleket épít 1816-ban Jakob Degen, aki óraműmeghajtású szerkezetét ejtőernyővel párosítja (6. ábra), 1823-ban Sarti és 1834-ben Dubochet is [18][43][45][60][68].



6. ábra J. Degen (1816)¹⁰

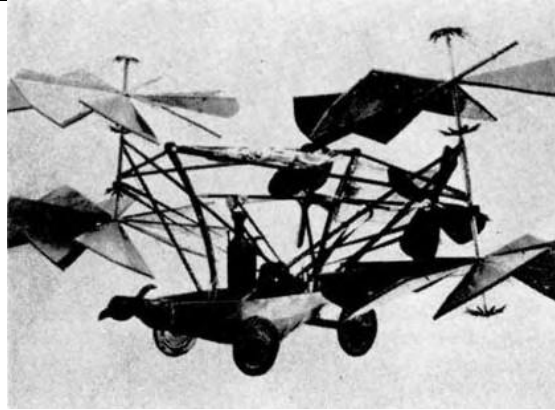
1842-ben¹¹ az angol Horatio Philipps a Heron-féle reakciókerekeket és az emelőcsavart házasítja össze egy helikopter szerkesztéséhez. A visszaható erőt kiáramló gőz szolgáltatja. Az így megszerkesztett repülőképes modell mindössze 9 kg-ot nyom [15, 67]. Bár nem praktikus, Phillips gépe jelentős volt, mivel ez az első repülőszerkezet, amely a gőz erejével emelkedik a magasba. A modellt 1868-ban Londonban a Crystal Palace-ban állították ki [11][22].

1843-ban Mr. Bourne angol mérnök Launoy rendszerét felhasználva egy helikoptert épített amelyhez íj helyett egy óraművet alkalmazott [45][60][68].

Az egyik első áttörés a helikopter fejlesztésben 1843 volt, amikor Sir George Cayley (a brit légiközlekedés atyja) tervezett egy repülőgépet, amely képes lebegni („Aerial Carriage”- „lebegő jármű”), aminek 4 rotorja volt páros koaxiális elrendezésben (lásd 7.ábra). Ez a furcsa jármű tökéletesített változata volt más korabeli elképzeléseknek. Azonban az egész csak egy ötlet maradt, mert az egyetlen erőművek, amik rendelkezésre álltak akkoriban a gőzgépek és ezek túl nehezek voltak a sikeres motoros repüléshez [13][16][21][22][24][25][26][46][59][68].

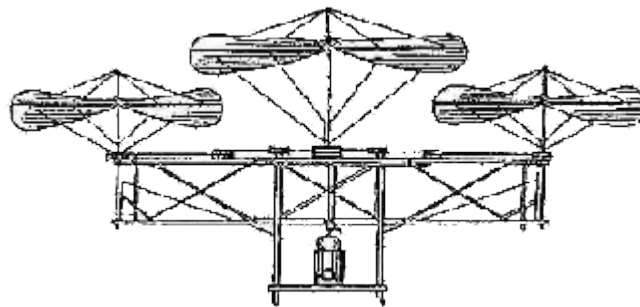
¹⁰ <http://alain.vassel.pagesperso-orange.fr/images/siecle19/degenn.gif> (2014.03.12)

¹¹ Egyes források szerint 1840-ben.



7. ábra Cayley „lebedő jármű” terve¹²

Cossus 1845-ben Elméleti gőzgépes helikoptert készített (8. ábra). A szerkezetnek három emelőcsavarja van, amelyből a két szélső csavar tengelye állítható. Ezzel a megoldással ezt a szerkezetet tetszés szerint bármely irányba lehet kormányozni. *Cossus* terve is azon hiúsul meg, hogy könnyű motorok akkoriban még nem állnak rendelkezésre. [13][14][16][25][26][45][46][49][60][68].



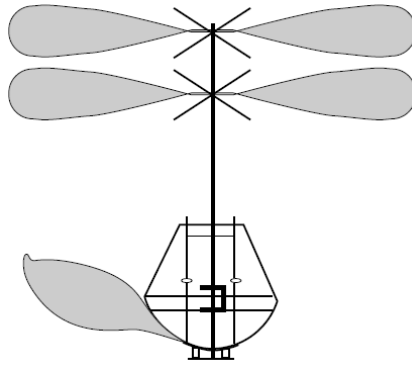
8. ábra. *Cossus* gőzgépes helikoptere (1845)¹³

A francia *Aubaud* sárkányrepülőgépből és helikopterből konstruált egy repülő szerkezetet 1851-ben. A gépet merev szárnyfelületek alkották, ezek felett a felszálláshoz két emelőcsavart helyezett el. Ugyanebben az évben *Le Bris* föleleveníti az egymással ellentétes irányban forgatható csavarpár gondolatát. Ezzel a megoldással ugyanis a készüléknek a csavaréval ellentétes, nem kívánatos forgása kiküszöbölhetővé válik [44][68].

Az angol *Bright* 1859-ben ellentétes irányban forgó légcsavarpárral ellátott helikoptert tervez, amelyet a pilótának izomerővel kellene működtetnie. Ezt a szerkezetet azonban *Bright* csupán léggömböknél kívánja alkalmazni, azt reméli ugyanis, hogy segítségével a ballont a függésben – ballaszt használata nélkül – bizonyos mértékig kormányozhatóvá tudja tenni. [9][30][44][45][68].

¹² <http://www.century-of-flight.net/Aviation%20history/helicopter%20history/images/5.jpg> (2014.03.29)

¹³ <http://www.century-of-flight.net/new%20site/images16/4.gif> (2014.03.29)

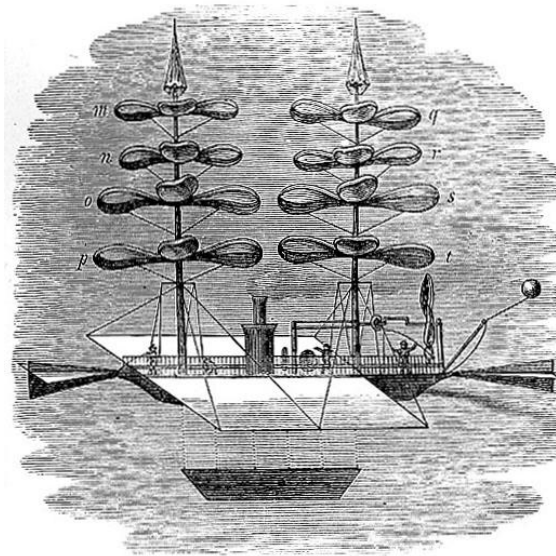


9. ábra Henry Bright 1859-es koaxiális szerkezetű szabadalma [35]

A helikopter iránti általános érdeklődés az 1860-as években jelentősen fokozódik, mert Guillaume Joseph Gabriel de la Landelle és *Félix Tournachon Nadar* hátat fordít a léghajózásnak és az aviatika lelkes szószólójává válik [68].

Hozzájuk csatlakozik *Ponton d'Amécourt*, és közzé teszi ezen trió megbízásából Nadar lelkesítő szövegét a *Manifeste de Vautolocomotion aérienne* (Kialtvány az önerejű légi közlekedésről) címmel. „A repülő” (*Aéronaute*) című folyóiratot és az „Aviatikai Társaságot” („Société d'Aviation”) hárman megalapítják, melyet később Francia Légiközlekedési Társaság („Société Francaise de Navigation Aérienne”) névre változtatják át. Így az aviatikusok olyan fórumra találnak a folyóiratban és az egyesületben, ahol már komolyan veszik őket. Victor Hugo, George Sand, idősebb és ifjabb Dumas, Jules Verne és sokan mások belépnek a Légiközlekedési Társaságba, amelynek tagjai kizárólag helikopterekkel foglalkoznak [45][68].

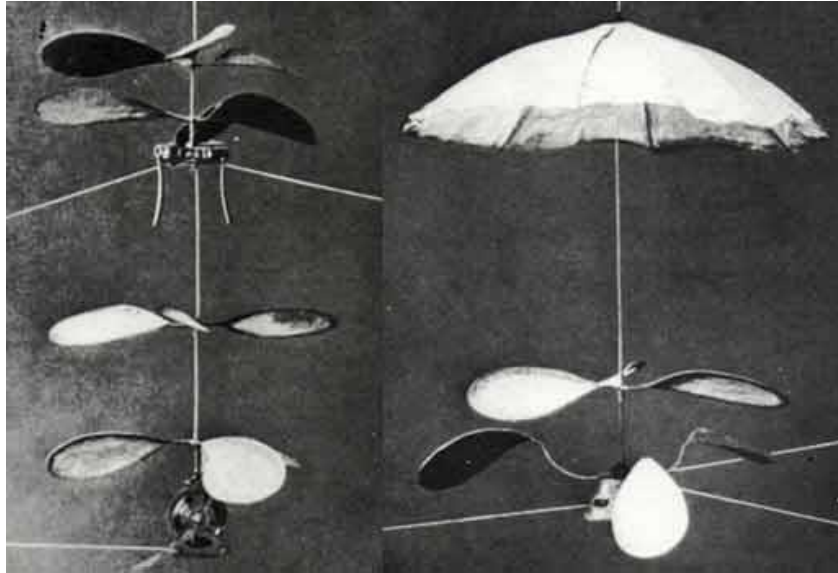
La Landelle például az Aviatika, vagy a ballon nélküli légiközlekedés (*Aviation, ou Navigation Aérienne Sans Ballon*) című könyvében egy utópisztikus helikopterhajó tervet tesz közzé (10. ábra). Többen is kemény kritikával illetik a nyilvánosság előtt. 1861-ben gyakorlati kísérletek során izomerő hajtotta helikopterrel mindössze 10 kg felhajtóerőt tudnak előállítani.



10. ábra La Landelle utópisztikus helikopter hajója (1863)¹⁴

¹⁴ <http://www.1902encyclopedia.com/F/FLI/flight-fig37.jpg> (2014.03.31)

A korai 1860-as években Viscount Gustave de Ponton d'Amecourt Franciaországban kísérletezett kis repülő koaxiális forgószárnyas repülőgép modellekkel (11. ábra). Ő nevezte el a gépet „HELICOPTERES”, amely a görög melléknévből „elikoeioas” származik, azaz spirál és a főnév „pteron,” ami azt jelenti, toll vagy szárny [22][24][52].



11. ábra Gustave Ponton d'Amecourt helikopter modelljei¹⁵

A helikopterelv helyességének igazolására egy *Joseph* nevű mechanikus Ponton d'Amécourt megbízásából 1865-ben egy gőzgéppel hajtott helikopter-modellt készített (12. ábra). A modell összmagassága 62 cm, tömege pedig 2,7 kg (víz és fűtőanyag nélkül). A gondosan megépített szerkezetet egy ellenirányban forgó légsavarpárnának kellene a levegőbe emelnie, de a gőzgép teljesítménye erre nem volt elegendő [30][68].

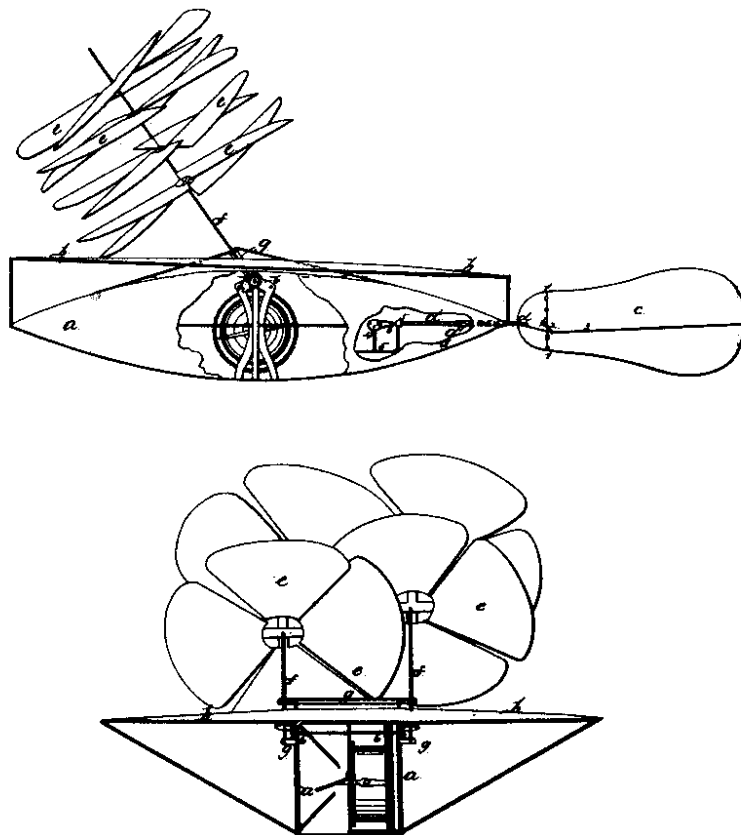


12. ábra de Ponton d'Amecourt helikoptere¹⁶

¹⁵ Alain Vassel: Les modeles reduits de machines volantes au 19^{eme} siecle. <http://alain.vassel.pagesperso-orange.fr/images/siecle19/pontonh.jpg>

1861 május 21-én Nelson Mortimer az Egyesült államok Szabadalmi hivatalában engedélyt kapott léghajó-helikopter lebegő járműve vázlataira (13 ábra). „Tartalmazott egy vége felé elkeskenyedő testet, egy körte formájú kormánylapátot a farok részénél, egy ejtőernyőt a törzs fölött és két vertikális tengelyt, amiken egy-egy pár rotor volt. Vásznat, vagy olajos selymet javasolt burkolatnak a testnek, a kormánylapátnak és az ejtőernyőnek. Úgy alakította ki a kormánylapátot, hogy az fel, le és oldalra is tudta irányítani a gépet.

Nelson helikopterének számos akkoriban újdonságnak számító megoldása volt. Ezek közül egy a rotor. Nelson nem nagyon törődött azzal, hányat tesz a gépre. Legalább kettőt akart rátenni, a többit pedig párokban elhelyezni. A rotorok és a tengelyeik függőlegesen, vagy rézsútosan előre felé lettek elhelyezve. A leírásukban mondta: „amikor a tengelyek függőlegesen vagy rézsútosan állnak, akkor előre hajtják a gépet.” Ezzel majdnem egy századdal előrebocsátotta egy új géptípus az „átváltható repülőgép” (convertiplane) létrejöttét.”[59]



13. ábra Nelson léghajó-helikopter terve¹⁷

Továbbá felfedezte, hogy a rotoroknak egymással ellentétes irányban kell forogniuk, hogy a nyomatékot kiegyenlítsék (ezért helyezte el párban a rotorokat.) A modelljének elkészítéséhez alumíniumot használt a sokkal nehezebb acél és fém helyett. Így gyakorlatilag sokkal több erőt lehetett a mozgatásra felhasználni a géptest felemelése helyett. Tehát egy olyan dologra jött rá, amit a mai gépeknél is felhasználnak a tervezők.

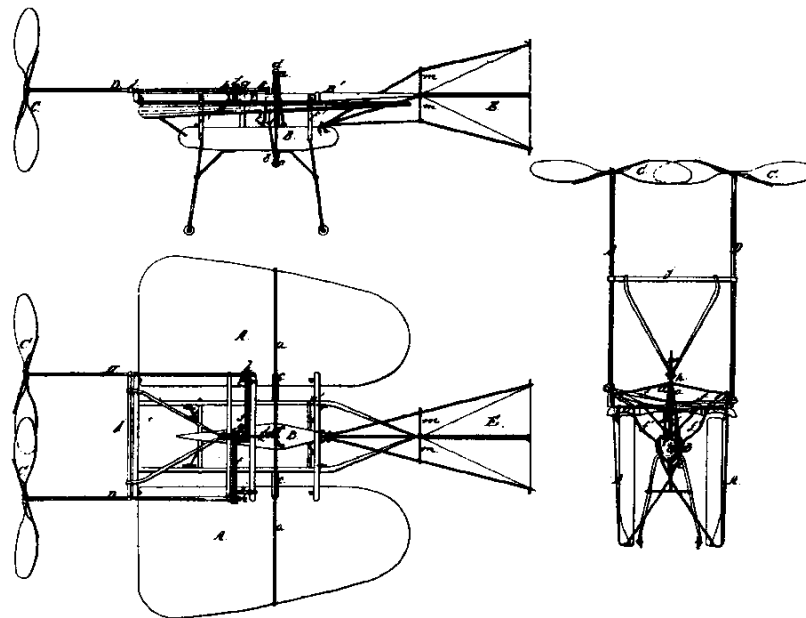
¹⁶ Présentation Hélicoptères la genèse, de Bernard Bombeau:

<http://www.helicopassion.com/images/Livres/HLG02t.jpg>

¹⁷ http://www.aviastar.org/foto/nelson_1.gif

„Az ejtőernyőt, vagy ponyvatetőt Nelson nem a biztonság kedvéért rakta oda, hanem azért, hogy szárnyként funkcionáljon és felhajtóerőt termeljen a gép számára. Nelson elfelejtett gondoskodni egy nélkülözhetetlen dologról a szabadalmi leírásban: a hajtóműről. Egy szót sem ír arról, mivel hajtaná meg találmányát. Talán elővigyázatosságból, mert volt néhány meghajtásra vonatkozó ötlete a nehéz gőzgép helyett. Ennek bizonyítéka, hogy Nelson kísérletezett egy forradalmi belső égésű motorral. Erőfeszítései végül sikerrel jártak. Kapott egy másik szabadalmat is az új vegyi anyag keverékére, amit az új motorjában akart használni. „Carbo-sulph-ethyl”-nak nevezte el. Nelsonnak volt néhány nagyon optimista állítása az új üzemanyaggal és motorral kapcsolatban. Nemcsak hogy sokkal könnyebb az új motor a bevált gőzmozdornál, de kevesebb üzemanyaggal is ugyanazt az energiát tuja előállítani. Nelson Mortimer sajnos soha nem ültette át terveit a való életbe.” [30][59]

Időközben egy másik feltaláló Nyugat Dennisben, Massachusettsben az első helikopterszabadalom és az ezzel járó megbecsülésért harcolt. Ő Luther C. Crowell, és az ő légiesszöke volt az első olyan eszköz, amit a Szabadalmi Iroda is elismert 1862 június 3-án (14. ábra).



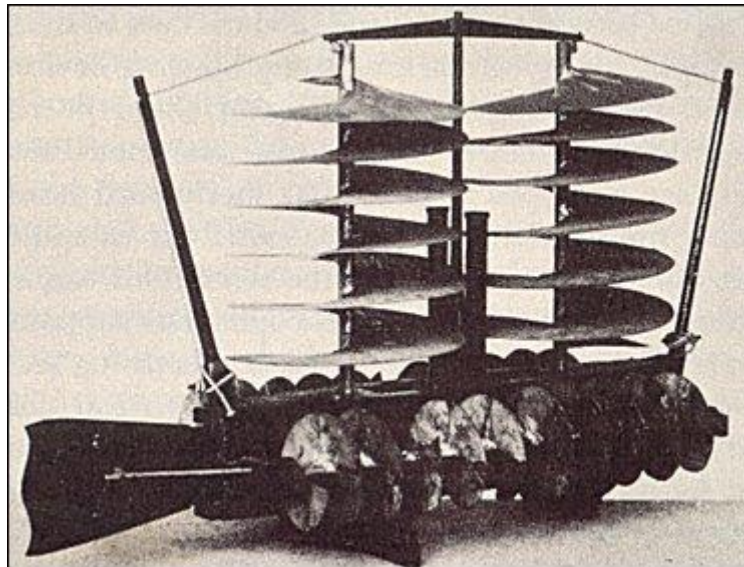
14. ábra Luther C. Crowell¹⁸

Crowell gépe sok sajátos mechanikai érdekességet tartalmazott. Az egyik ilyen például a két légszár, amelyek a tengelyekhez voltak rögzítve, és függőleges állásból vízszintesbe lehetett állítani őket. Ennek következtében amikor helikopterként repült a rotorok a gép törzse fölött voltak, vízszintes repüléshez a rotorokat le kellett engedni. Crowell azt is észrevette, hogy a rotoroknak ellentétesen kell forogniuk, hogy kiegyenlítsék a nyomatékot. Kiegészítésként a mozgatható rotorokhoz a tervező beállítható szárnyakat is felszerelt. A le- és felszálláshoz a szárnyakat le lehetett engedni vertikális állásba. A kívánt magasság elérése után a pilótának fel kellett állítania a szárnyakat vízszintes repüléshez. Egy másik érdekessége ennek a modellnek a szárnyakkal kapcsolatban, hogy üregesek voltak és meg lehetett tölteni őket hidrogénnel, vagy más levegőnél könnyebb gázzal. Borításnak fa és bármilyen olajos ruha, se-

¹⁸ http://www.aviastar.org/foto/crowell_1.gif (2014.04.01)

lyem megfelelt a géphez. Ha egyszer fent volt a magasban, a helikoptert bármely irányba el lehetett kormányozni egy piramis formájú kormánylapáttal, ami a gép farkához volt erősítve. Ezt kötelekkel és csigákkal oldották meg, amiket meghosszabítottak a pilótafülkéig [30, 65].

Williams C. Powers kapitányt az Uniós blokád - a Szövetséges állások körül - vette rá, hogy megalkossa saját repülő masináját. Úgy gondolta, ez egy fantasztikus eszköz lenne arra, hogy megkerüljék az Uniós tengerészetet, ami nem engedte behozni a nagyon is szükséges háborús ellátmányt. Továbbá meglátta, hogy megfigyelésre és felderítésre is lehetne használni találmányát. Ez elég kezdetlegesen nézett ki és jóformán semmi hasonlóságot nem mutatott egy légijárművel. A helikopternek két rotoregysége volt (spirálcsigára emlékeztető légcsavarakkal). Az egyik része a helikopter függőleges emelkedéséért felelt, a másik pedig a vízszintes repülésért. Valószínűleg egy gőzmotor felelt a meghajtásáért (15. ábra).

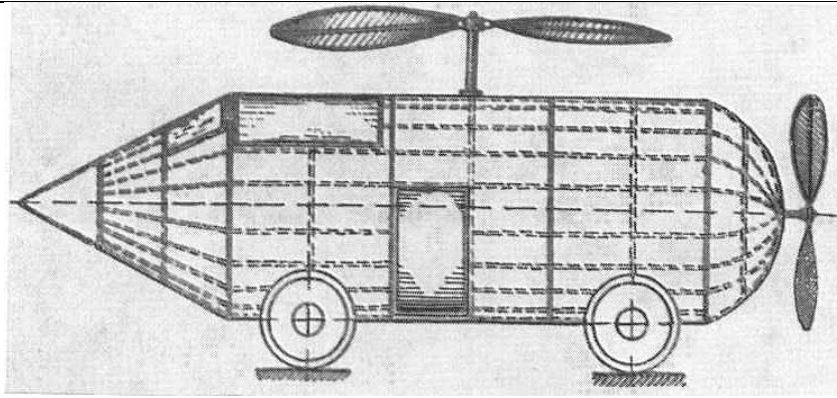


15. ábra Williams C. Powers kapitány helikopter terve¹⁹

A szövetséges katonatiszt helikoptere viszonylag korszerű felfedezés volt. Valószínűleg azért nem épített normál méretű modellt, mert félt, hogy az az Unió kezébe kerül, és a Szövetségesek ellen kerül felhasználásra [30][59][65].

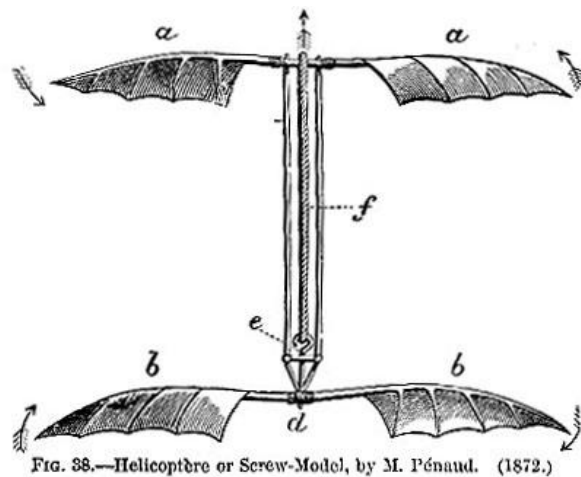
1869-ben *A. N. Lodigin* neves orosz elektrotechnikus, az ívlámpa főtalálója egy helikoptertervet nyújt be hadügyminisztériumának. E szerkezetnél kormányzási célokra két elektromotoros meghajtású és állítható tengelyű légcsvár szolgál, ezek közül az egyik vízszintes, a másik pedig függőleges elrendezésű (16. ábra). [39][40][41]

¹⁹ <http://www.aviastar.org/foto/powers.jpg> (2014.04.01)



16. ábra Lodigin helikopterterve 1870²⁰

1870-ben *Alphonse Pénaud*²¹ egy gumimotoros meghajtású és ellentétes irányban forgó légsavarpárral ellátott helikoptermodellt készít (17. ábra). A forgatóerőt megsodort gumiszálak ereje szolgáltatja. A modell 15 méter magasságra emelkedett. Pénaud „helicopter”-ének kitűnő repülési tulajdonságai voltak. Többen terveit lemásolják és előadások alkalmával demonstrációs célokra használják. A Wright testvérekben²² is ez a helikoptermodell ébreszt lelkesedést a repülés eszméje iránt [13][26][30][52][68][69].



17. ábra Alphonse Pénaud helikopter modellje.²³

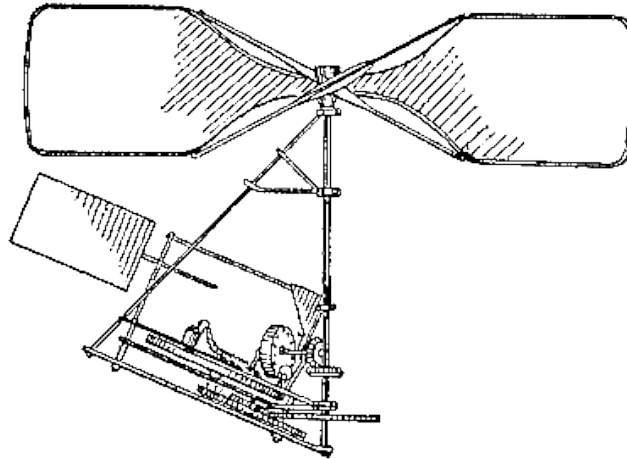
1871-ben *Pomés* és *de la Pauze* épít egy helikoptert (18. ábra). A forgószárnylapátok meghajtására egy puskaporral működő motort (ami a mai rakétameghajtás egyik előfutára volt), kormányzás céljaira pedig egy oldalkormány szolgált volna, de a tervei sosem épültek meg [30][59][68].

²⁰ <http://www.tambovlib.ru/books/image/elektrolet.jpg> (2014.03.13)

²¹ la Landelle hathatós segítségével nyerte meg az aviatika ügyének.

²² Wilbur Wright (1867. április 16. – 1912. május 30.) és Orville Wright (1871. augusztus 19. – 1948. január 30.). Wright fivérek: http://hu.wikipedia.org/wiki/Wright_fiv%C3%A9rek (2014.03.30)

²³ <http://www.1902encyclopedia.com/F/FLI/flight-fig38.jpg> (2014.03.31)

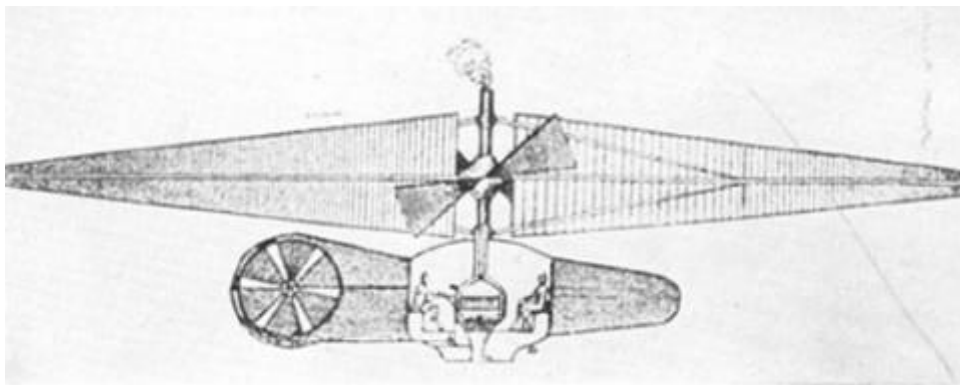


18. ábra Pomés és de la Pauze helikoptere²⁴

Ugyanebben az esztendőben *M. A. Rikacsev* közlésezi *Első kísérletek felhajtóerő létrehozására levegőben forgó légszavarral* című munkáját, és ebben kísérletet tesz a helikopterek elméleti magyarázatára [68].

Egy évvel később *Renoir* megszerkeszti az első olyan helikoptert, amelynek két – azonos síkban elhelyezett – állítható légszavarrja van. Pedálos gépével 1876-ban csaknem 12 kg felhajtóerőt tud létrehozni [68].

A „Repülő” folyóiratnak (*Aéronaute-nak*) ugyanebben az évfolyamában *Crocé-Spinelli* leír egy állítható emelkedésű csavart. 1874-ben pedig egy *Achenbach* nevű föltaláló Németországban közlésezi egy helikoptervázlatot (19. ábra). Szerkezetét vízszintes és függőleges csavarokkal látja el, meghajtására gőz szolgálna. Az egyrotoros légijárműve egy átlós légszavart is tartalmazott, ami a nyomatékot ellensúlyozta. Ez is azonban csak ugyanolyan utópisztikus elképzelés volt, mint a korábban említett tervek jórésze [30][68].



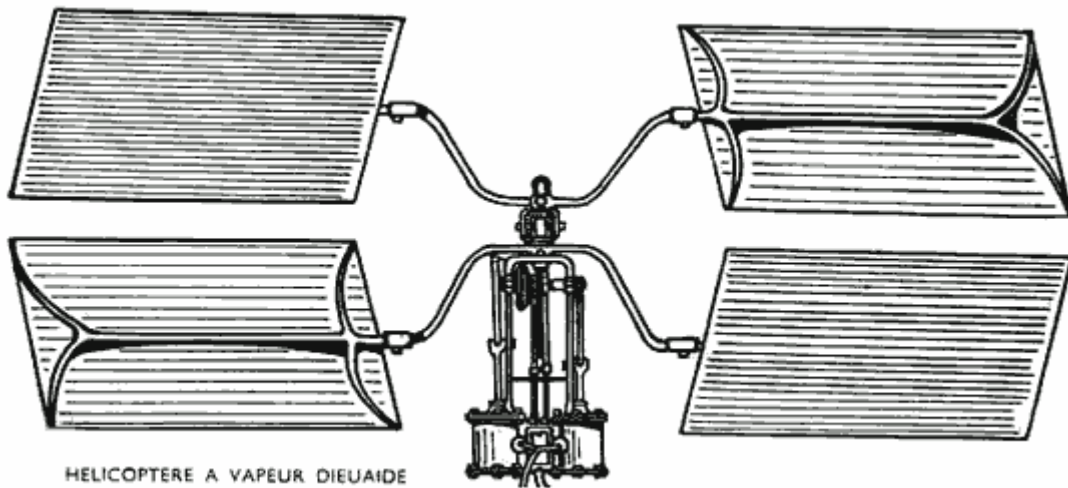
19. ábra. Achenbach helikoptervázlata²⁵

1878-ban *Emmanuel Dieuaide* szabadalmi ügyvivő egy gőzgép meghajtású helikopter modellt készít (20. ábra), amelynél megvalósítja az állítható szögű légszavarrak ötletét [30][68].

²⁴ http://invention.psychology.msstate.edu/i/Chanute/library/photos/Prog_Fig30.gif (2014.03.13)

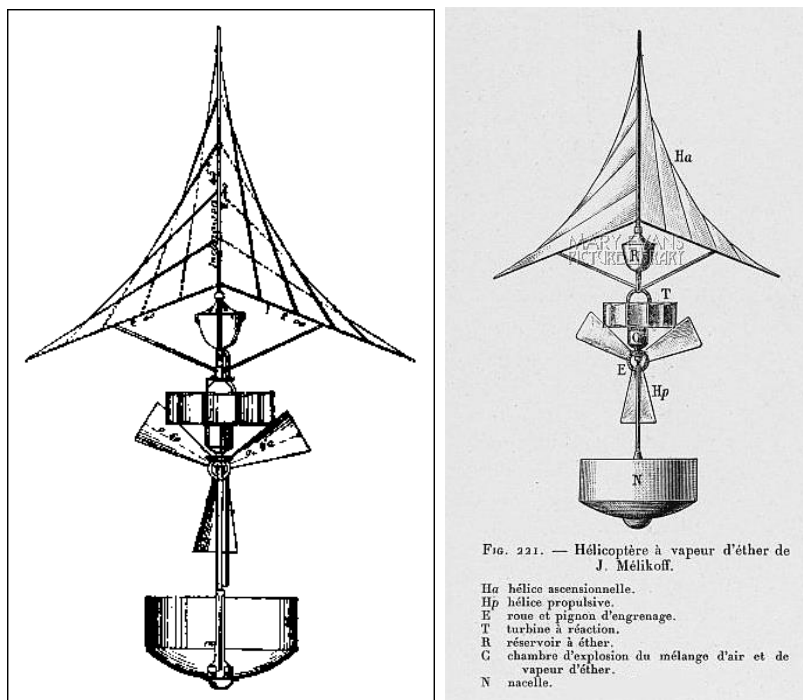
²⁵

<http://files.activeboard.com/935765?AWSAccessKeyId=1XXJBWHKN0QBQS6TGPG2&Expires=1397088000&Signature=fzm97NIiP0ehYzmAkSJ6ULRziFE%3D> (2014.04.01)



20. ábra Dieuaide gőzgép meghajtású helikopter modellje ²⁶

1879-ben *Mélikoffé*, egy függőleges tengelyű gázturbinával meghajtott, kúp alakú helikoptert vázolt fel (21. ábra). „A kúpos kiképzés azt a célt szolgálja, hogy leszálláskor a szerkezet ejtőernyőként lehessen használni. A helikopter nyolcágú turbinaforgórészét levegő és éter keverékének égési gázai hajtánák meg, és az így nyert teljesítményt használnák fel egy emelő- és vonócsavar működtetésére. A szerkesztési adatokat *Mélikoff* ugyan kiszámítja, de a gép tényleges fölépítésére nem kerül sor. Igaz, úgysem lett volna repülőképese, mert a benne rejlő gondolat az akkori technikai adottságok mellett mindenképpen megvalósíthatatlan.” [30][68]

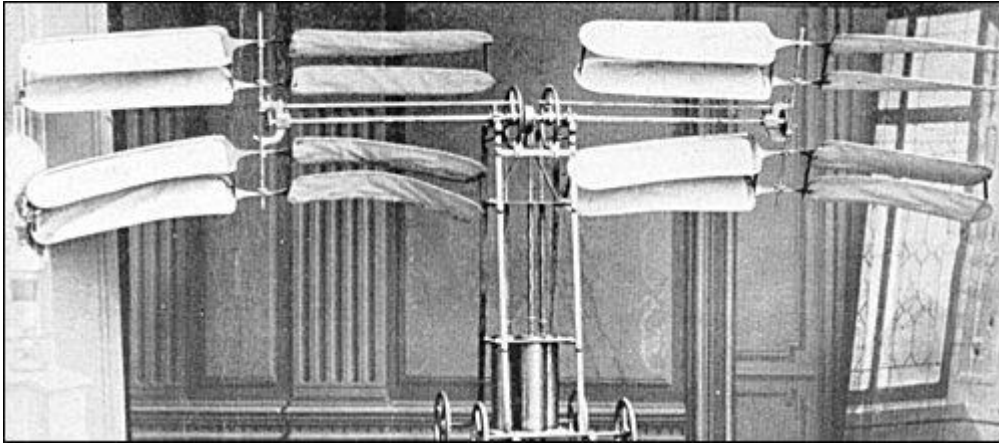


21. ábra Mélikoff helikopter terve²⁷

²⁶ <http://alain.vassel.pagesperso-orange.fr/images/siecle19/dieuaide2b.gif> (2014.03.17)

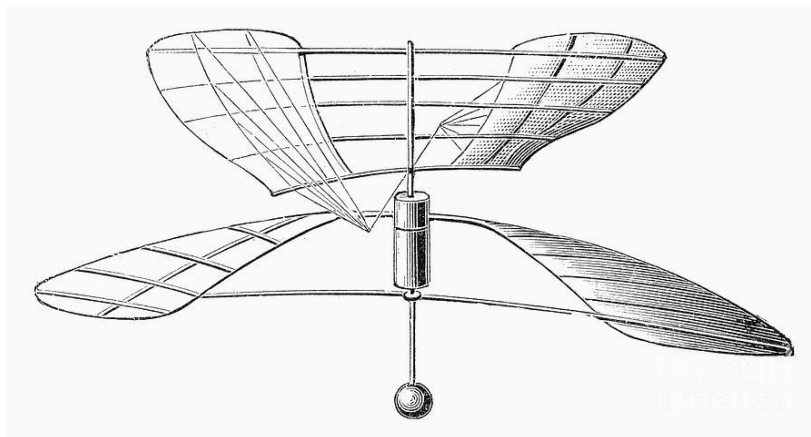
²⁷ <http://www.aviastar.org/foto/melikoff.gif> (2014.04.01)

1877-ben *Castel* helikoptermodelljének erőforrása egy sűrített levegővel meghajtott motor, amelyet a földről tömlőn át táplálnának sűrített levegővel (22. ábra). A szerkezet össztömege 22 kg-ot tesz ki, és a nyolc csavar mindegyikének átmérője 1,2 m. Ezzel a modellel számos sikeres kísérletet végeznek, de azután egy alkalommal a szél egy falhoz csapja és ott széttörik [30][68].



22. ábra Castel helikoptermodellje²⁹

Ebben az évben még egy sikeres helikoptermodell készül el, *Forlanini* olasz professzor konstrukciója. Két egymás fölé helyezett csavarból áll, a felsőt Forlanini is egy kéthengeres gőzgéppel hajtja meg, az alsót viszont a géphez erősíti, mert ezáltal a forgatónyomatékok csaknem teljesen kiküszöbölheti. Túlhevített gőzt nyomott 10 kg/cm²-es nyomással egy kis acélgömbbe, amiből egy kalibrált szelep engedte ki a hengerekbe, a fűtőberendezés azonban túlságosan nehéznek bizonyul, így a gép nem viheti azt magával. Az egész szerelvény, beleértve a két rotort is, alig nyomott többet 3,5 kg-nál és a felraktározott gőzzel is csaknem 13 m magasságot ér el és 20 másodpercig marad fenn a levegőben [30][59][68].



23. ábra Forlanini modellje³⁰

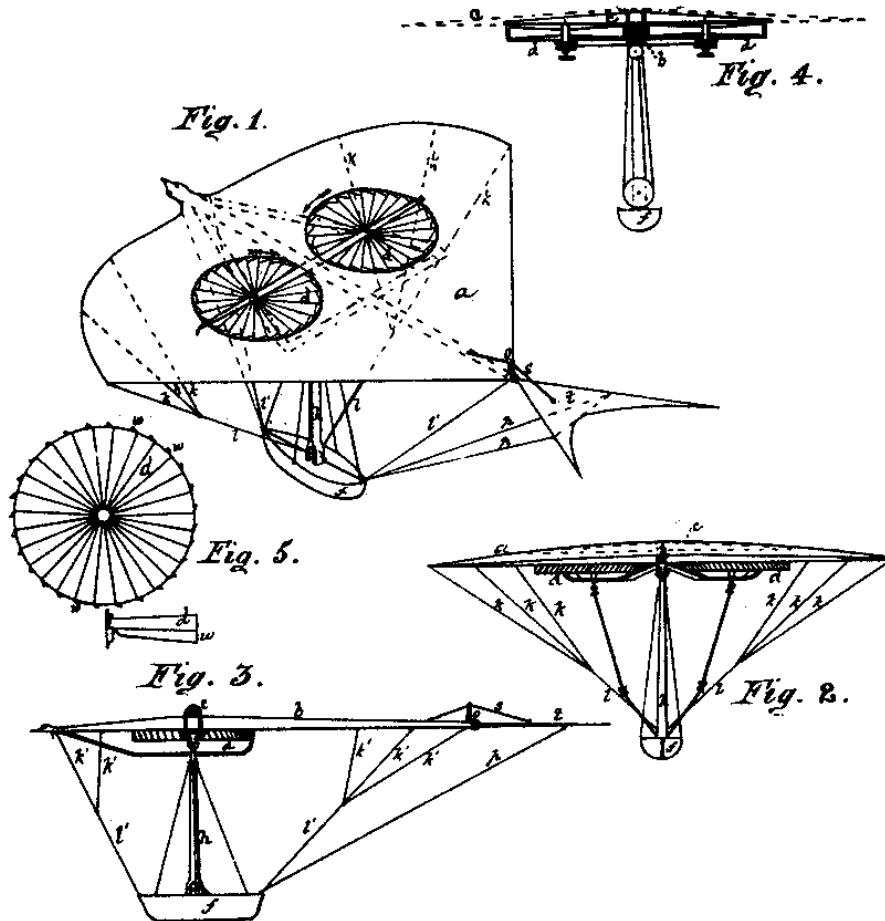
28

http://www.mediastorehouse.com/image/609745_450_450_0_0_fit_6_f214c695f3008a7d60592627b917e1f6.jpg (2014.04.01)

²⁹ <http://www.aviastar.org/foto/castel.jpg> (2014.04.01)

³⁰ <http://images.fineartamerica.com/images-medium-large/forlaninis-helicopter-granger.jpg> (2014.04.01)

1879-ben *John Greenough* tünt fel egy szabadalmaztatott találmánnyal (24. ábra) ami a könnyű anyagok használatának tökéletesítése volt. A találmányát *Syracuse*-nak nevezte el, és helikopterét egy madár szárnyaihoz hasonlatossá alakította. A jármű két emelő-rotorja a szárny alatt forgott [30].



24. ábra *John Greenough* találmánya³¹

1886-ban *Trouvé* egy igen ötletes és egyszerű berendezést talál fel helikopterek kipróbálására. Berendezése egy közepén alátámasztott mozgó mérlegrúdból áll, amelynek egyik végére kerül az elektromotor a kipróbálandó csavarral, a másikra pedig az ellensúly. Ilyen módon könnyűszerrel meg lehet mérni a csavar hatásfokát. *Trouvé* a legkedvezőbb értékeket akkor kapja, ha a csavar menetemelkedése megegyezik az átmérőjével.

Thomas Alva Edison híres amerikai föltaláló is foglalkozik gyakorlati kísérletekkel, anélkül azonban, hogy számottevő eredményeket érne el.

Ausztriában a kilencvenes években *Popper*, *Kress*, *Wächter* és *Wellner* végeznek helikopter kísérleteket.

A kísérletezők közül említést kell tennünk a magyar származású *Ludvig Edér*ről is, aki 1870-ben született Szolnokon. Azt tudni róla, hogy műlakatos szakmáját Pesten tanulta, majd először Bécsbe, azután Berlinbe, végül Párizsba vándorolt. Itt készítette el 1896-ban helikopterjének

³¹ http://www.aviastar.org/foto/greenough_1.gif (2014.04.01)

modelljét, melyet egy óraszerkezettel hozott mozgásba. A szerkezetet két ellentétesen forgó emelő, és húzó légszavart tartott mozgásban. A francia szaklapok nagy elismeréssel írtak munkásságáról [7]. *A L'Aérophile a következőket írja: „A magánmérnökök társaságának legutóbbi ülésén Brancher úr bemutatta egy csapkodószárnyú helikopter modelljét, amelyet Ludvig Ede úr szerkesztett, ez az ügyességéről híres mechanikus. Ennek a készüléknek irányítható és repülő dinamikusgép nevet adott, de helyesebb a megjelölés, ha azt mondjuk, orthohelikopter.*

Ez a helikopter egy embert tud befogadni és a váza igen könnyű csövek rendszere. A vázból fölfelé és előre egy cső nyílik, amelyen két-két légszavart helyezett el a föltaláló. A légszavarnál az a feltűnő, hogy a vázhoz közelebb esők nagyobbak és hogy a csavarok egymással ellentétes irányban forognak. A vertikális csavarok a gép emelésére szolgálnak, a horizontálisok előre vagy hátra viszik a gépet. A helikopternek két mozgatható szárnya van, amelyeknek a légszavarokkal együtt történő mozgatását egy motor végzi, amely a szerkezet alsó részén van elhelyezve. A törzs középtengelyéből kiindulva, szilárdan megerősített farka is van a gépnek. A szárnyak és a farkok selyemmel vannak bevonva.

A készülék felépítése logikus és megfelel a matematikai számításoknak és amennyiben sikerül elég könnyű de nagy hatóerejű elektromotort építeni, akkor a helikopter be fog válni.”

Az ugyancsak francia La Vie Scientifique az alábbi megállapítást közli a találmánnyal kapcsolatban:

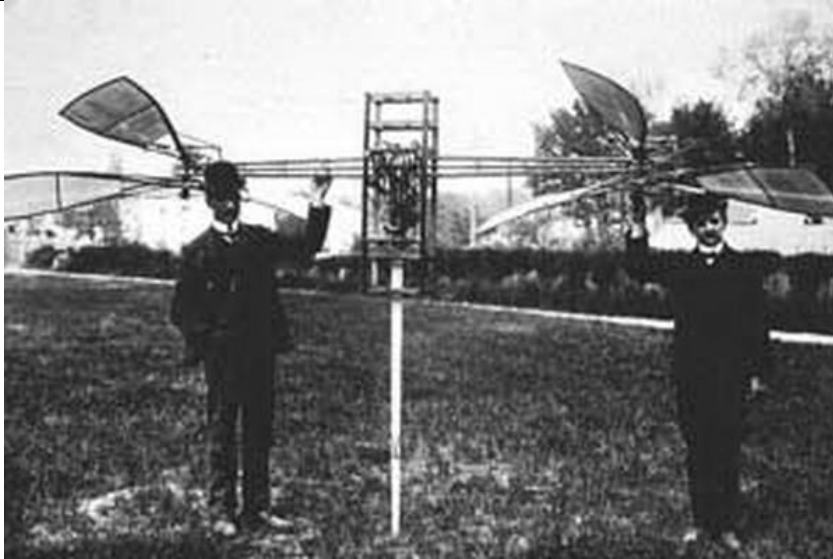
„Csak a Ludvig Ede úr által megjelölt úton lehet remélni a levegőnél nehezebb testek repülési problémájának megoldását. Éppen ezért kutatásait az egész világnak méltányolni kell.” [7]

Az elméleti szakmai elismerés mellett, lehetőséget kapott tervének Párizsban történő megvalósítására. Hazatérése után részese lett mindenféle rosszindulatú támadásnak, gúnyolódásnak, ezért szerkezetét összetörte, és a továbbiakban ügyes mechanikusként kamatoztatta tehetségét. A szerkezet nem volt alkalmas repülésre, de ha maga a szerkezet nem is volt a maga nemében világot megváltó, de a gondolat nagyon is eredeti volt [23].

A kísérletezők többsége azonban hamarosan felhagy próbálkozásaival, mert rájön, hogy a helikopterrel elérhető felhajtóerő a motor teljesítményéhez képest túlságosan csekély. Az akkori nagy tömegű motorokkal a probléma valóban nem is volt még megoldható. Amellett a kísérleteket pusztán tapasztalati alapon végzik, hiszen a légszavart elmélete tulajdonképpen még meg sem született [68].

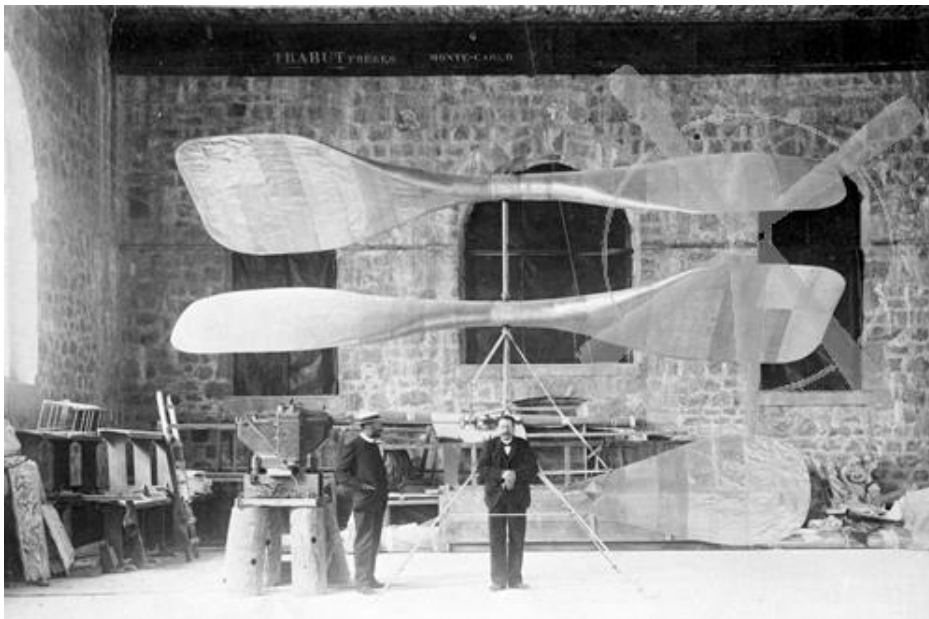
A XX. század elején jutott el a technika olyan színvonalra, ahol már helikopterek szerkesztésére is sor kerülhetett. Ezek a körülmények magyarázzák, hogy a XX. század folyamán egyre növekszik a megvalósított helikoptertervek száma.

A svájci Dufaux testvérek 1905-ben egy olyan sárkányrepülőgépet készítenek, amelyre kiegészítésként két emelőcsavart is szerelnek, hogy ilyen módon a repülőgép meredekebben szállhasson föl (25. ábra.). Szerkezetük azonban nem bizonyul repülőképesnek, nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket [7][23][68].



25. ábra Dufaux testvérek helikoptere³²

Ugyanebben az esztendőben a monacói Léger egy elektro-helikoptert akar készíteni, de a kísérletek során modellje tönkremegy (26. ábra).

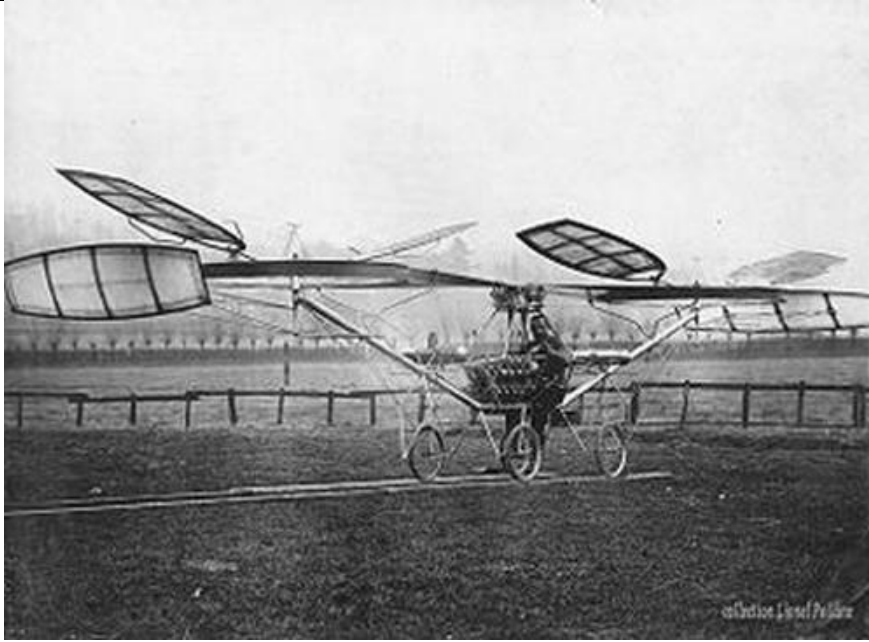


26. ábra Leger helikoptere (1905)³³

A francia Cornunek 1900 és 1907 között sikerül egy benzinmotorral ellátott kétszárnyas helikoptert építenie, amely a földről 30 cm magasságra emelkedik (27. ábra). De ezt követően, a sárkányrepülőgép-gyártás területén beállt rohamos fejlődés láttán, abbahagyja a további kísérletezést [52][68].

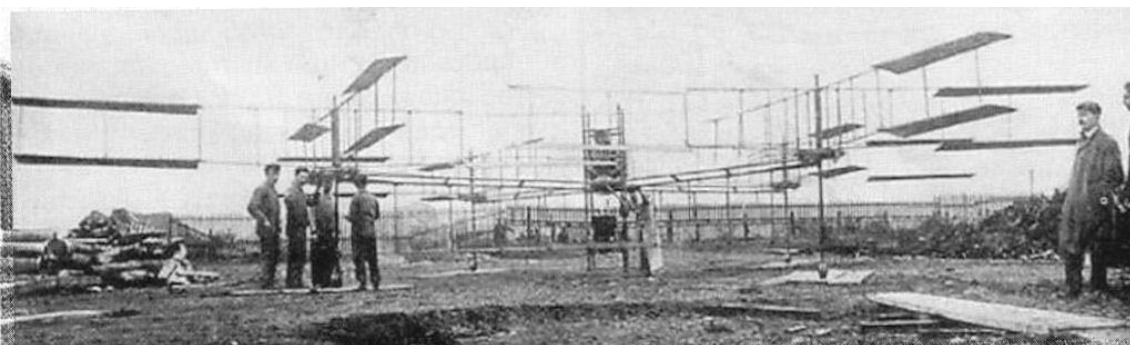
³² http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Armand_%26_Henri_Dufaux_-_helicopter_-_April_1905.jpg (2014.04.02)

³³ <http://www.helicopter-history.org/Aircraft%20Thumbnails/Leger%201905%20Helicopter/2-watermark.jpg> (2014.04.02)



27. ábra Cornu helikoptere³⁴

1907. szeptember 29-én a francia Louis és Jacques Bréguet testvérek Gyroplane No. 1 típusjelzésű szerkezete. A korabeli sajtóhírek szerint az 578 kg felszálló tömegű gép (motorokkal, üzemanyaggal, és magával a pilótával együtt) alig 1,5 m magasságra volt képes felemelkedni, s ott önállóan, kikötés nélkül lebegni körülbelül 40 másodpercig, majd visszahuppant a földre. Szerkezetük négy, párosával egymás mellé helyezett emelőcsavarból (32 lapátból) állt, melyek átmérője 8,1 m (28. ábra), s ezeket egy 40 lóerős, Antoinette típusú dugattyús motor hajtotta. Ezzel a szerkezettel azonban csak függőleges irányban lehetett manőverezni, ugyanis a pilóta a fedélzetről kizárólag a motor fordulatszámát volt képes szabályozni a gázkar segítségével. A pilóta (Monsieur Volumard) és a konstruktőr Louis-Charles Bréguet szerencsésen túlélte a kísérletet. Második helikopterük viszont nem bizonyul sikeresnek, mire – ugyanolyan okból, mint Cornu – ők is sárkányrepülőgépek építésével kezdenek foglalkozni [8][29][50][53][58][68].



28. ábra. Breguet-Richet Gyroplane No. 1 típusjelzésű szerkezete³⁵

A szakemberek egy köre szerint ez tekinthető a világon az első levegőnél nehezebb szerkezetnek, amely függőlegesen emelkedett a levegőbe, emberrel a fedélzetén.

³⁴ http://www.jetfly.hu/rovatok/jetfly/100_eves_a_helikopteres_repules/cornu_3_resize.jpg (2014.04.01)

³⁵ http://flyingmachines.ru/Images7/Janes/Janes13_2/ill_245b.jpg (2014.04.02)



Az addig készített helikopterek között egy sem akad, amellyel a stabil szabad-repülés és a kormányozhatóság problémáját megoldották volna. A legnagyobb nehézséget elsősorban a helikopter stabilizálása okozta. A pörgő emelő légcsavar ugyanis igyekszik elfordítani a gépet, ezért ezt a forgatónyomatékokat valamilyen módon ki kell egyenlíteni.

Ugyancsak bonyolult feladatnak tűnt a megbízható kormányzás biztosítása, mivel a repülőgépektől eltérően a helikopteren nincsenek kormányfelületek. A forgatónyomatékokat az első gép-szerkesztők oly módon kísérelték meg kiegyenlíteni, hogy két ellentétes irányban forgó emelőcsavarral látták el helikoptereiket [7].

A repülőtervezők mindössze azt tanulják meg, hogy miképpen lehet forgószárnyakkal felhajtóerőt létrehozni.

ÖSSZEFOGLALÓ

Áttekintve a forgószárnyas légijárművek fejlődéstörténetét, látva az egyes időszakok műszaki találmányainak kimeríthetetlen tárházát, azt kell mondjuk, igen ritkán fordult elő, hogy egy jelentősebb technikai gépezetet, eszközt vagy berendezést valamiféle előzmény nélkül, minden részletében kidolgozva, egyik napról a másikra került volna napvilágra.

A műszaki alkotások döntő többsége éppúgy az egymásra épülő ismeretek véget nem érő láncolatának törvényszerűen létrejött terméke, mint az emberi társadalom fejlődésének egyes epizódjai a történelem folyamában.

Egy-egy technikai újdonság megszületését nagyon sok esetben nehéz eldönteni, hogy ki voltaképpen egy-egy készülék feltalálója, hiszen a végső mű a sok ragyogó elme részeredményéből született. Valahogy így állunk a helikopter találmányával is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 104 años del primer helicóptero: <http://viajes.elpais.com.uy/2012/07/13/104-anos-del-primer-helicoptero/> (2014.03.14)
- [2] A brief early hovering his-story: <https://www.facebook.com/notes/afurah%C3%A5-breh%C3%A5nn/i-n-s-p-i-r-3-d-f-l-i-g-h-t-s/172063746138511> (2014.03.29)
- [3] Alain Vassel: Les modeles reduits de machines volantes au 19^{eme} siecle. <http://alain.vassel.pagesperso-orange.fr/images/siecle19/pontanh.jpg> (2014.03.14)
- [4] Aviation Pioneers: An Anthology. <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/pioneers.html> (2014.03.14)
- [5] Биография: <http://www.tstu.ru/win/kultur/museum/lodygin/lodbio.htm> (2014.03.14)
- [6] Болховитинов В.Ф. - Пути развития летательных аппаратов. Государственное Научно-техническое Издательство, Оборонгиз, Москва, 1962.
- [7] Bődök Zsigmond: Magyar feltalálók a repülés történetében. NAP Kiadó, Dunaszerdahely, 2002. 84-85. o.
- [8] Breguet-Richet helikopter No.1: http://www.aviastar.org/helicopters_eng/breguet_gyro.php (2014.03.29)
- [9] COLIN P. COLEMAN: A Survey of Theoretical and Experimental Coaxial Rotor Aerodynamic Research. Ames Research Center, Moffett Field, California, 1997. <http://www.humanpoweredhelicopters.org/articles/nasa-tp-3675.pdf> (2014.03.29)
- [10] Colin P. Coleman: A Survey of Theoretical and Experimental Coaxial Rotor Aerodynamic Research, Ames Research Center, Moffett Field, California, 1997. <http://www.humanpoweredhelicopters.org/articles/nasa-tp-3675.pdf> (2014.03.29)
- [11] Dinamikus Repülés: <http://rchangar.hu/history-dynamic-flight> (2014.03.14)

- [12] Dr. Galántai Zoltán: A csapkodószárnyas repülőgépek története
<http://mek.oszk.hu/03600/03639/03639.htm#b17> (2014.03.14)
- [13] Early Efforts of Flight:
<http://science2288flight.wikispaces.com/Core+concepts+and+understandings?showComments=1> (2014.03.29)
- [14] Early helicopter history. <http://fly-hrcc.tripod.com/tailwinds/2011-02.pdf> (2014.03.29)
- [15] Early Helicopter History: <http://www.aerospaceweb.org/design/helicopter/history.shtml> Letöltés: 2014.03.09.
- [16] Early helicopter technology: <http://cartenz-historymaker.blogspot.hu/2013/02/early-helicopter-technology.html> (2014.03.14)
- [17] European Helicopter Pioneers: http://www.airvectors.net/avheli_1.html (2014.03.14)
- [18] Flight, Flying Machines: <http://www.1902encyclopedia.com/F/FLI/flight-flying-machines.html> (2014.03.29)
- [19] Гончаренко В.В. - Как люди научились летать. (Изд. 2е), Киев, „Веселка”, 1986.
- [20] Gordon Leishman J.: A History of Helicopter Flight.
http://itlims.meil.pw.edu.pl/zsis/pomoce/SSR/A_History_of_Helicopter_Flight.pdf (2014.03.29)
- [21] Gordon Leishman J.: A History of Helicopter Flight.
<http://terpconnect.umd.edu/~leishman/Aero/history.html> (2014.03.29)
- [22] Gordon Leishman J.: Principles of Helicopter Aerodynamics. Cambridge University Press 2000. ISBN 0-5216606-0-2. http://www.air.flyingway.com/faa_exam/heli/principles_of_helicopter_aerodynamics.pdf (2014.03.29)
- [23] Gy. Fekete István: A szolnoki repülő hagyományok, és a katonai helikopterezés.
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/fekete_istvan.pdf (2014.04.02)
- [24] Helicopter History Site, History of Helicopters, June 2004, Available at: <http://www.helis.com> (2014.03.29)
- [25] História do Helicóptero: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/historia-do-helicoptero/helicoptero-5.php> (2014.03.29)
- [26] History of the helicopter: <http://www.century-of-flight.net/Aviation%20history/helicopter%20history/Early%20Helicopter%20Technology.htm> (2014.03.29)
- [27] History of the Helicopter: <http://www.usmilitaryhelicopters.org/history-helicopter> (2014.03.14)
- [28] Horatio F. Phillips <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/philips.html> (2014.03.14)
- [29] Human Powered Helicopters. The history, the technology, the people.
<http://www.humanpoweredhelicopters.org/> (2014.03.29)
- [30] Helicopter designs before 1900 http://www.aviastar.org/helicopters_eng/early.html (2014.03.29)
- [31] Johan Hoffman, Johan Jansson and Claes Johnson: The secret of flight (draft). 2012.
<http://www.nada.kth.se/~cgjoh/ambsflying.pdf> (2014.03.29)
- [32] John Seddon, Simon Newman: Basic helicopter aerodynamics. Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd. 2011.
- [33] José A. Guerrero, Rogelio Lozano: Flight Formation Control. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. 2012.
- [34] Камов Н. И. Винтовые летательные аппараты, Оборонгиз, 1948.
- [35] Lambermont, P.; and Pirie, A.: Helicopters and Autogyros of the World. Cassell & Company Ltd., 1970.
<http://www.humanpoweredhelicopters.org/articles/nasa-tp-3675.pdf> (2014.03.29)
- [36] Lawrence Hargrave: Aviation and Aeromodelling - Interdependent Evolutions and Histories. Sir George Cayley: <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/cayley.html> (2014.03.14)
- [37] Lawrence Hargrave: Aviation and Aeromodelling - Interdependent Evolutions and Histories. The Octave Chanute Pages: http://www.spicerweb.org/chanute/Cha_index.aspx (2014.03.14)
- [38] Leonardo da Vinci: http://www.citatum.hu/szerzo/Leonardo_da_Vinci/2 (2014.03.14)
- [39] Лодыгин Александр Николаевич: <http://www.imyanauki.ru/rus/scientists/2336/facts.phtml>
- [40] Людмила Гаева: Александр Николаевич Лодыгин (1847-1923)
<http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000084/st013.shtml> (2014.03.14)
- [41] Макарова Н. А.: Первые полеты над Тамбовом:
http://www.tambovlib.ru/?view=books.pervije_poleti_nad_tambovom&tpl=print (2014.03.14)
- [42] Mercsek P.: Magyar találmányok – Helikopter <http://esestuske.geo.info.hu/?p=1364>
- [43] O. Chanute: Progress in Flying Machines.
http://invention.psychology.msstate.edu/i/Chanute/library/Prog_Contents.html (2014.03.29)
- [44] Octave Chanute: Progress in flying Machines. 1997.
<http://books.google.hu/books?id=62oWkVM39yAC&pg=PA87&lpg=PA87&dq=1851+Aubaud&source=bl>

- &ots=wzvro3jEX9&sig=YkSQyub5wjGtxx113N3o18wyzbE&hl=hu&sa=X&ei=RhU3U7KgCqjDyQPz14CoAw&ved=OCEUQ6AEwAg#v=onepage&q=1851%20Aubaud&f=false (2014.03.29)
- [45] Octave Chanute: Screws To Lift And Propel Par I. March 1892 http://www.456fis.org/CHANUTE_-_SCREWS_TO_LIFT_AND_PROPEL.htm (2014.03.29)
- [46] Ornithopters, Helicopters and Kites: http://www.century-of-flight.net/new%20site/frames/ornithopter_frame.htm (2014.03.29)
- [47] P.Jarrett - Pioneer Aircraft: Early Aviation Before 1914 /Putnam/
<http://flyingmachines.ru/Site2/Arts/Art4742.htm> (2014.03.14)
- [48] Pedro Castillo, Rogelio Lozano and Alejandro E. Dzul: Modelling and Control of Mini-Flying Machines. Springer-Verlag London Limited 2005. http://api.ning.com/files/G1ksd8afs89keSgcy3fYDWtjKd9Y-Y*j0aqP3cpvmFMA9AvPi8ZWrRLKwikam9-Ok4N2X7sTTBEeh75SaWpaFA_/ModellingandControlofMiniFlyingMachines1.pdf (2014.03.09)
- [49] Pioneers: <http://www.helis.com/pioneers/> (2014.03.29)
- [50] Pokorádi László: A helikopteres repülés első 100 (?) éve. Debreceni szemle, „Debreceni Szemle” Alapítvány, 2009/1.
- [51] Présentation Hélicoptères la genèse, de Bernard Bombeau:
http://www.helicopassion.com/fr/05/livre302.htm#.Uz2XGPl_vh4 (2014.03.29)
- [52] Prof. Dr. Szabolcsi Róbert: Modern automatikus repülésszabályozó rendszerek. Egyetemi Tankönyv, Budapest, 2011.
- [53] Professor J.Gordon Leishman: The Breguet-Richet Quad-Rotor Helicopter of 1907.
<http://aero.umd.edu/~leishman/Aero/Breguet.pdf> (2014.03.29)
- [54] Развитие идеи крылатого летательного аппарата в период до конца XVIII в.
<http://www.airwar.ru/other/sobolev/htmls/t1g1.html> (2014.03.14)
- [55] R. G. Grant: FLIGHT 100 years of aviation, Dorling Kindersley Limited A Penguin Company, 2002.
- [56] R.G. Grant: A repülés évszázada. Magyar Könyvklub, Budapest, 2003.
- [57] Repülés története, 1. rész – minden, ami a repülőgépek előtt volt: <http://marshaller.hu/2013/10/12/repules-tortenete-1-resz-minden-ami-a-repulogek-elott-volt/>
- [58] Riccardo Niccoli: A repülés története Leonardo da Vincitől az új meghódításáig, Alexandra kiadó, 2002.
- [59] Rövid fejlődéstörténetük: http://lakat.webatu.com/web/helicopters_fejlodestortenet.htm (2014.03.29)
- [60] Screws to lift and propel Part I March 1892.
http://invention.psychology.msstate.edu/inventors/i/Chanute/library/Prog_Screws_Mar1892.html (2014.03.29)
- [61] Screws to lift and propel Part II April 1892.
http://invention.psychology.msstate.edu/i/Chanute/library/Prog_Screws_Apr1892.html (2014.03.14)
- [62] Сикорский И. И.: Воздушный путь. Русский путь, YMCA-Press, Москва, 1998.
- [63] Соболев Д. А.: Идея полета в трудах Леонардо да Винчи.
<http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/VIET/FLY/FLY.HTM>
- [64] Suetonius: Caesarok élete. Tizenkét életrajz, fordította: Kis Ferencné, a versbetéteket fordította: Terényi István <http://mek.oszk.hu/03200/03264/03264.htm#2> (2014.03.14)
- [65] The History of Helicopters: <http://www.aviastar.org/history/index.html> (2014.03.09)
- [66] Vámos Krisztián: A repülőgépek fejlődése. <http://hirmagazin.sulinet.hu/hu/pedagogia/a-repulogek-fejlodestortenete> (2014.04.02)
- [67] Wayne Johnson: Helicopter Theory. Dover Publications Inc. New York. 1980.
http://bib.convdocs.org/docs/34/33948/conv_1/file1.pdf (2014.03.08.)
- [68] Wissmann, Gerhard: A repülés története Ikarosztól napjainkig. Táncsics Kiadó, Budapest, 1964. Vámosi Pál fordítása
- [69] Wright fivérek: http://hu.wikipedia.org/wiki/Wright_fiv%C3%A9rek (2014.03.30)

Schuster György¹ – Terpezcz Gábor²

INKREMENTÁLIS FEJLESZTÉS ÉS TESZTELÉS BIZTONSÁGKRITIKUS RENDSZEREK ESETÉN³

A szoftver kritikus sikertényező és mint ilyen alkalmazása szinte minden berendezésben elkerülhetetlen. A skála rendkívül széles a kapucsengőtől a kerékpárlámpán keresztül a járművek fedélzeti rendszerét érintve a nukleáris létesítményekig mindenütt találkozunk szoftverekkel. Sajnálatos módon tapasztalataink azt mutatják, hogy a megrendelők – tisztelet a kivételnek – nagyrészt képtelenek a feladatot kellő mélységben specifikálni, aminek az az eredménye, hogy kutatások szerint az átadott programok jó része további módosításra szorul, jelentős részüket nem használják és szinte elenyésző az a szám ahol az átadás után nincs szükség kisebb – nagyobb változtatásra. Ezen a jelenségen sajnos változtatni nem nagyon lehet, ezért számos esetben a fejlesztés során az inkrementális modellt vesszük alapul, akár biztonságkritikus alkalmazásokban is.

INCREMENTAL DEVELOPMENT AND TEST IN CASE OF SAFETY CRITICAL SYSTEMS

Summary: software is critical success factor therefore it is inevitable to apply in almost each device. This scale is very large from doorbell via bicycle lamp, vehicle board systems to atomic power plants. Unfortunately our experience shows that customers – except for fews – are unable to specify its problem in every detail. This leads to the result that dominant part of delivered programmes need later modifications or some of them is not used. Number of delivered and not modified software is tiny. That is the reason why the increment development model is considered as basic model even if safety critical systems.

BEVEZETŐ

A szoftvertechnológia számos életciklus modellt ismer, ezek mind rendelkeznek előnyökkel és hátrányokkal. Ezek a modellek:

- vízesés modell,
- V modell (más néven német V modell),
- spirál modell,
- evolúciós modell,
- inkrementális modell.

Az inkrementális modellt kivéve szinte mindegyik az első pillanattól egyértelmű és pontos specifikációt igényel. Erre a vízesés és a V modell a legjobb példa. Az inkrementális modell viszont nem ennyire merev, amikor rendelkezésre áll egy adott részterületről kellő mennyiségű információ a fejlesztés és a tesztelés megkezdhető.

¹ ÓE KVK MAI schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu

² ÓE KVK MAI terpezcz.gabor@kvk.uni-obuda.hu

³ Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu



INKREMENTÁLIS MODELL

A modell akkor alkalmazható, ha kellően nagy vonalakban ismerjük az elkészítendő szoftver által biztosított szolgáltatásokat, de a teljes rendszer még nem teljesen specifikált. A hangsúly a nem teljesen van. Ez azt jelenti, hogy tudjuk, hogy a rendszernek mit kell csinálni, de a részletek nem minden esetben állnak rendelkezésre.

Példának hozhatjuk azt az esetet, amikor egy UAV fejlesztése párhuzamosan történik a sárkány és a fedélzeti rendszer esetén.

A szoftver fejlesztést a megrendelés pillanatában el kell kezdeni, holott az lenne optimális, ha már a teljes mechanika az ismert dinamikus tulajdonságaival rendelkezésünkre állna.

Ez egyszerűen azt eredményezné, hogy a fejlesztési idő a megrendelő számára elfogadhatatlanul hosszúvá nyúlna.

A szituáció mindenki számára ismert. Azonban kellő tapasztalatok birtokában lehetőség nyílik arra, hogy a programozók előre dolgozzanak.

Ennek oka az, hogy kevés kivétellel az adott feladatok számos részét előre meg lehet határozni. Ezeket prioritási sorrendbe rakva el lehet kezdeni fejleszteni, illetőleg tesztelni. Ebben segítséget nyújt a moduláris és az objektum orientált módszertan.

A módszer lépései:

1. azon elemek kiválasztása, amelyek meghatározottak, jól körülhatárolhatók, tehát elegendő információ áll rendelkezésre, hogy az adott elemet meg lehessen valósítani,
2. a kiválasztott elemek logikai és fizikai tervezése – különös tekintettel a szükséges interfész felületekre,
3. a fenti tervek alapján a szoftver elem kódolása,
4. a szoftver elem tesztelése először a fejlesztői host-on, és amint lehetséges a target rendszeren is,
5. amennyiben lehetőség van a következő inkrementális lépés megkezdésére akkor annak végrehajtása és az interfész és együttműködési tesztek végrehajtása.

Az inkrementális fejlesztés az első pillantásra nem felel meg a biztonságkritikus filozófiának, de az időkénszner – ami sokszor az adott problémához nem, vagy igen kevésbé értő környezet által generált – nem teszi lehetővé a kívánt fejlesztési modell alkalmazását.

Azonban ennek a fejlesztési modellnek van előnye is. Azok a szoftver egységek, amelyek a fejlesztés adott szakaszában elkészülnek azonnal tesztelhetők és viselkedésükről, tulajdonságaikról tapasztalatokat lehet szerezni.

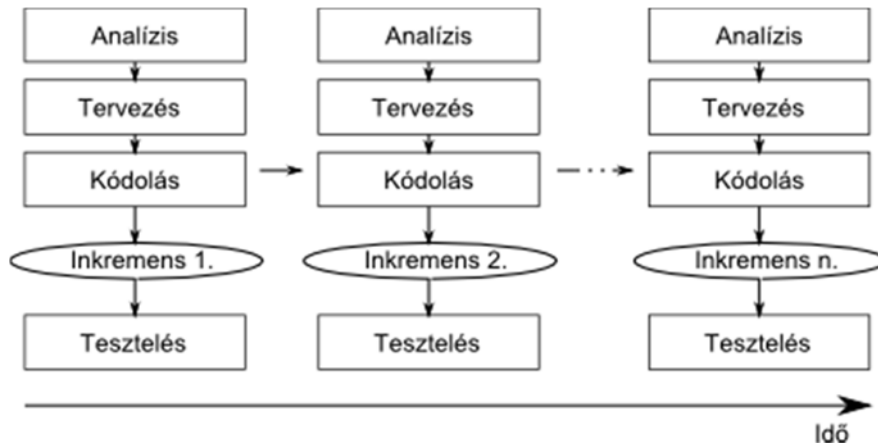
Ez nem csak a host-on való tesztelést, hanem a target-en történő futtatást is jelentik.

Ez például jelentheti azt is, hogy kellően korai időben a target nem elegendően erős a feladat ellátására.

Összefoglalva az inkrementális fejlesztés tulajdonságait:

6. korábban készülnek tesztelhető szoftver egységek, tehát a megrendelő korábban kap már tesztelhető elemeket,

7. lehetőség nyílik az egyes részek korai tesztelésére
8. mivel a target rendszeren korán futtatási tesztek lehet végrehajtani, időben kiderülhet a target alkalmatlansága,
9. a fejlesztés a projekt (összetett hardver, szoftver, projekt rendszerről beszélünk) korai időszakában megkezdődhet a rendelkezésre álló információk szerint,



1. ábra Az inkrementális fejlesztés vázlata

Azt ne felejtjük el, hogy a fejlesztés megkezdésekor a kérdéses szoftver egységek fejlesztési sorrendje a rendelkezésre álló információktól függ, de ekkor is célszerű a magasabb prioritású elemeket kiválasztani és ezekkel kezdeni a munkát.

Az inkrementális fejlesztés azonban nem program egysége független fejlesztését jelenti, bár ebből indulunk ki, de a fejlesztés a valóságban folyamatosan, viszonylag kis lépésekben történik, úgynevezett inkrementális szinteken történik.

Tesztelés

Ennek a fejlesztés modellnek az alapvető tulajdonsága az, hogy a szoftver egységek nem egyszerre készülnek el, illetve minden inkrementális lépés után – a lehetőségekhez mérten – működő kóddal rendelkezünk. Ez viszont azt eredményezi, hogy ez a kód már az első lépés után tesztelhető.

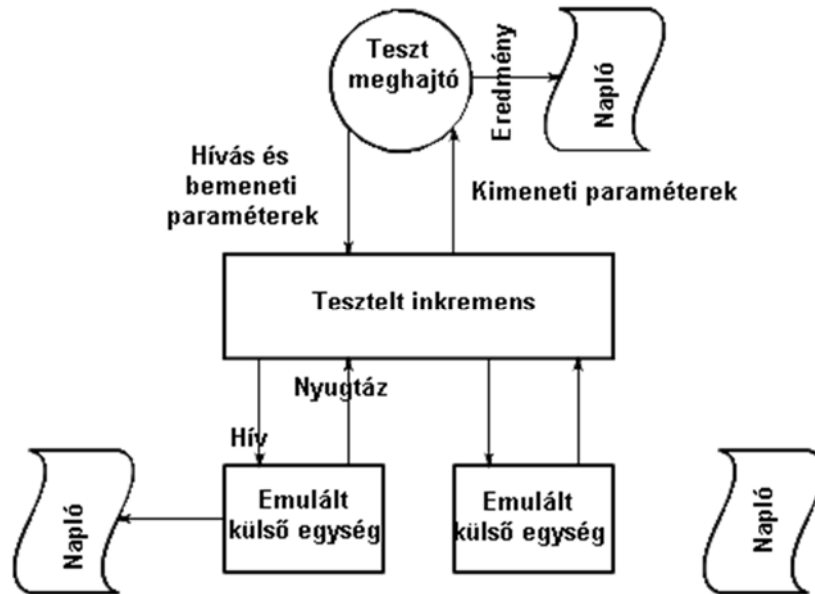
Célszerűen az adott szoftver elem adott inkrementális elem úgy kezelendő, mint egy a klasszikus unit tesztelésnél egy unit. Annyiban egyszerűbb a helyzet, hogy a már előző inkremensben letesztelt és várhatóan hibátlan szint (a teszt nem talált hibát, természetesen ettől még lehet) már nem teszteljük újra csak annyiban, amennyiben a kérdéses inkrementális szint megköveteli.

A statikus ismert unit tesztelés lépései alkalmazhatóak, úgymint:

- vezérlési út tesztelés,
- adatfolyam tesztelés,
- tartomány teszt,
- funkcionális teszt.

A dinamikus tesztelésnél célszerű eljárások:

- mutációs teszt (biztonságkritikus rendszereknél a mutáció elvileg nem fogadható el),
- funkcionális tesztelés.



2. ábra Alsó rétegben lévő inkremens tesztelése

Mivel a kérdéses szoftver elem egy része a szoftvernek, ezért feltételezzük, hogy interfészei nem csatlakozhatnak további valós szoftver elemhez. Továbbá nagy valószínűséggel ez az elem nem a legalsó, vagy a legfelső rétegben van. Ennek következménye, hogy a kérdéses elem interfészeit emulálnunk kell.

Nyilván valóan az emulált interfészek is szoftver elemek. Külön kérdést jelent ezeknek az előállítás, illetve helyessége.

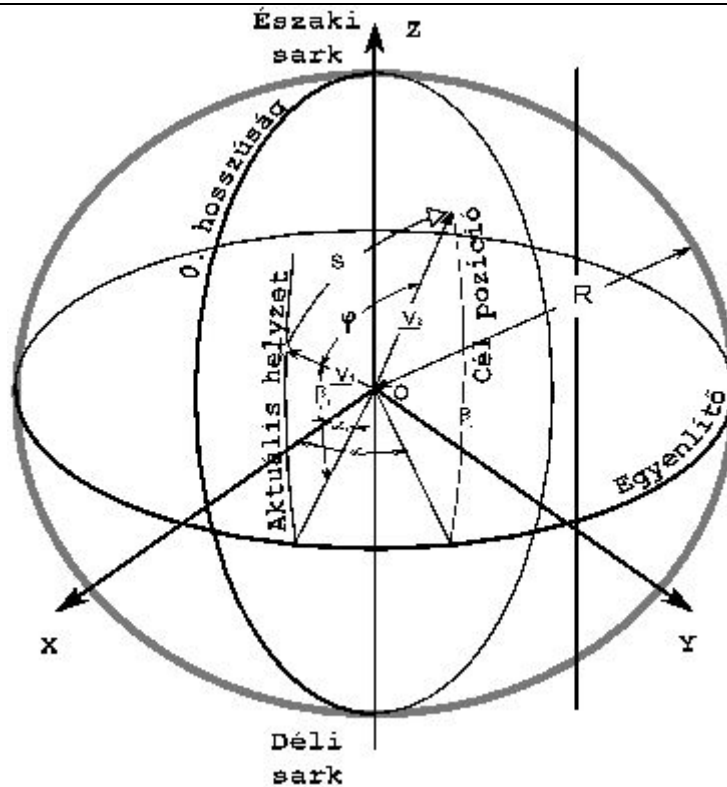
A 2. ábra egy nem tipikus tesztelési szituációt mutat, ahol a kérdéses szoftver elem közel van a fizikai eszközhöz, tehát emulált külső egységeket kell alkalmazni. Esetlegesen, ha rendelkezésre áll a hardver, akkor célszerű azon is az elemet kipróbálni. Így lehetőség nyílik az erőforrás használat és a futásidő mérésére is.

Abban az esetben, ha a fejlesztési lépés valamilyen algoritmus, akkor a host-on való futtathatóság megkönnyíti az algoritmus helyességének ellenőrzését. A következő fejezetben erre mutatunk egy példát.

Példa

Ebben a fejezetben egy algoritmus nem szokványos tesztelését mutatjuk be. A feladat egy GPS alapú navigáció megvalósítása és ellenőrzése.

A navigáció célja az, hogy a kitűzött és hosszúsági és szélességi adatokkal megadott célt a légi jármű a lehető legrövidebb úton, vagyis ortodrómát követve érje el. A pozíció számítás minden GPS leolvasáskor megtörténik.



3. ábra Navigációs szituáció

Jelmagyarázat:

- O a bolygó középpontja,
- α_1 az aktuális pont hosszúsági koordinátája
- β_1 az aktuális pont szélességi koordinátája,
- α_2 a célpont hosszúsági koordinátája,
- β_2 a célpont szélességi koordinátája,
- \underline{v}_1 az aktuális pont helyvektora,
- \underline{v}_2 az célpont helyvektora,
- R a bolygó sugara,
- φ az aktuális pálya (aktuális ponttól a célpontig) szöge az ortodrómán,
- s az aktuális pálya (aktuális ponttól a célpontig) hossza az ortodrómán,

Az aktuális pozíció helyvektora:

$$\underline{v}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}, \text{ ahol rendre: } z_1 = R \sin \beta_1, x_1 = R \cos \alpha_1 \cos \beta_1, y_1 = R \sin \alpha_1 \cos \beta_1$$

A célpont helyvektora:

$$\underline{v}_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix}, \text{ ahol rendre: } z_2 = R \sin \beta_2, x_2 = R \cos \alpha_2 \cos \beta_2, y_2 = R \sin \alpha_2 \cos \beta_2$$

Az ortodróma sík normál egységvektora:

$$\underline{n}_p = \frac{\underline{v}_2 \times \underline{v}_1}{\|\underline{v}_2 \times \underline{v}_1\|} = \frac{\underline{v}_2 \times \underline{v}_1}{R^2 \sin \phi}$$

Az aktuális pályaszög és a hátralévő út az ortodrómán:

$$\phi = \arcsin \frac{\underline{v}_2 \times \underline{v}_1}{R^2} \quad \text{és} \quad s = R \arcsin \frac{\|\underline{v}_2 \times \underline{v}_1\|}{R^2}$$

Az aktuális hosszúsághoz tartozó ortodróma normál egységvektora:

$$\underline{n}_l = \begin{pmatrix} -\sin \alpha_1 \\ \cos \alpha_1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

A kérdéses pozícióban a geológiai irányszög a keleti féltekén:

$$\delta = \begin{cases} \arccos \langle \underline{n}_p, \underline{n}_l \rangle, & \beta_2 > \beta_1 \\ \pi/2, & \beta_2 = \beta_1 \\ \pi - \arccos \langle \underline{n}_p, \underline{n}_l \rangle, & \beta_2 < \beta_1 \end{cases}$$

A számítás után az eredmény radiánban érhető el, ezt könnyen át lehet számítani fokra:

$$\delta_{gr} = 180 \delta / \pi$$

Amennyiben valamelyik hosszúsági kör a nyugati, illetve a szélességi kör déli féltekére esik a kérdéses paramétert negatívnak kell venni.

Az algoritmus ellenőrzésre több módszer is használható, ezek:

- ideális gömbön az algoritmus alkalmazása előre meghatározott koordináta értékekkel pontról pontra,
- a google-maps, illetve a google-earth programon a szimulált navigációs számítások ellenőrzése,

Az első módszer nagyon egyszerű a két adott koordináta között gyakorlatilag igen kis lépésekkel ellenőrizzük az útvonalat, majd az eredményt összevetjük az ideális ortodoxával. Ha ezt kellő felbontással képernyőre tesszük igen látványos az esetleges hiba.

A második módszer a google-earth használata. Ekkor szintén adott pontból, adott sebességet feltételezve indítjuk az algoritmust.

A célpontként kijelölt helyet elfogadható pontossággal kell elérni. Esetünkben a Pécs-Pogány repülőtérrel (LHPP pályaközép Lat.: 45°59'21.01"N, Lon.: 18°14'31.99"E) Budaörs repülőtérre (LHBS 27L várópont Lat.: 47°26'58.99"N, Lon.: 18°59'12.98"E) 120 km/h-s sebességet és percenkénti négy mintavételt feltételezve ellenőriztük a navigációt.



Ennél a természetesen egy valós GPS jóval sűrűbben biztosít információt.

Az eredmény többszöri futtatás után 10–30 méteres hibákat mutatott.

Azt mindenképpen szeretnénk megjegyezni, hogy ez nem egy valós navigációs szituáció, hanem egy algoritmus teszt, tehát csak és kizárólag a navigációt teszteltük a légtereket figyelmen kívül hagyva. Ez a teszt virtuális voltát tekintve megtehető.

ÖSSZEFOGLALÓ

Az inkrementális fejlesztés biztonságkritikus rendszerek esetén közel sem optimális fejlesztési modell, azonban a néha ésszerűtlen határidők betartását elősegítheti.

Optimális lenne, ha a fejlesztendő rendszer kellő módszerességgel, egyenletes ütemezésben készülné.

Tapasztalatink azt mutatják, hogy kellő módszerességre szinte soha nincs idő. Ezért a fejlesztők már akkor neki kezdenek a tervezésnek és kódolásnak, amikor a rendszer még bőven tartalmaz tisztázatlan részeket.

A módszer előnye, hogy ezzel idő takarít meg, mert az adott inkremens korábban készül el és tesztelhető. A legnagyobb felelősség az interfész tesztet végző munkatársakra hárul, nekik kell azokat a lehetséges problémákat felfedezni, amelyek a projekt sikerét és esetlegesen a felhasználók egészségét veszélyeztetik.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FODOR ATTILA - VÖRÖSHÁZI ZSOLT BEÁGYAZOTT RENDSZEREK ÉS PROGRAMOZHATÓ LOGIKAI ESZKÖZÖK. EGYETENI TANANYAG ISBN 978-963-279-500-3
- [2] ROGER S. PRESSMAN, PH.D. SOFTWARE ENGINEERING A PRACTITIONER'S APPROACH ISBN MCGRAW HILL ISBN 978-0-07-337597-7
- [3] CEM KANER JACK FALK - HUNG QUOC NGUYEN TESTING COMPUTER SOFTWARE WILEY ISBN ISBN-10: 0471358460 | ISBN-13: 978-0471358466
- [4] JÓZSEF KOPJÁK - JÁNOS KOVÁCS: TIMED COOPERATIVE MULTITASK FOR TINY REAL-TIME EMBEDDED SYSTEMS IEEE 10TH JUBILEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLIED MACHINE INTELLIGENCE AND INFORMATICS, HERL'ANY, SLOVAKIA, ISBN:978-1-4577-0197-9 pp. 377-382
- [5] KSHIRASAGAR NAIK, PRIYADARSHI TRIPATHY, SOFTWARE TESTING AND QUALITY ASSURANCE, WILEY ISBN ISBN 978-0-471-78911-6

Szüllő Ádám¹ – Seller Rudolf²

VALÓS IDEJŰ MULTILATERÁCIÓ – WAMLAT PILOTRENDSZER³

A cikkben bemutatott passzív radarrendszer a multilaterációs technika segítségével képes minden olyan légi jármű valós idejű detekciójára és pozíciójának nyomon követésére, amely rendelkezik fedélzeti transzponderrel. A radarrendszer a szekunder radarok által használt transzponder jelek késleltetési idejéből állapítja meg a repülőgép pozícióját anélkül, hogy megzavarná annak rendeltetésszerű működését. A kialakított multilaterációs radarrendszer nagy területek lefedését célozza meg (WAMLAT – Wide Area Multilateration). A multilaterációs mérési elv időmérésen alapul, az egyes vevőállomások szinkronizmusát GPS alapú, nagy pontosságú órákkal sikerül biztosítani. A valós idejű feldolgozás segítségével előben lehet követni a repülőgépeket a kialakított weboldalunkon. A feldolgozó rendszer a jövőbeli bővíthetőséget figyelembe véve készült el, tervezésénél fontos szempont volt a nagyfokú rugalmasság és skálázhatóság.

REAL-TIME MULTILATERATION - WAMLAT DEMO

The presented passive radar system is capable of detecting and tracking each aircraft in real time, which has on-board transponder, using multilateration technique. The radar system use the signaling of the secondary surveillance radar to determines the position of the aircraft, without disturbing its normal operation. The radar system is designed to cover large areas (WAMLAT – Wide Area Multilateration). The multilateration principle is based on accurate time measurement, the synchronization is provided by a subsystem based on GPS receiving, with success. Real-time processing allows live data to be shown on webpage. The main design considerations were flexibility and scalability.

MULTILATERÁCIÓ [4]

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 TOA⁴ 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 TDOA⁵ értékek meghatározását, amely adathalmaz a megfelelő algoritmus segítségével átalakítható a jelforrás tényleges pozícióját jól közelítő eredménnyé.

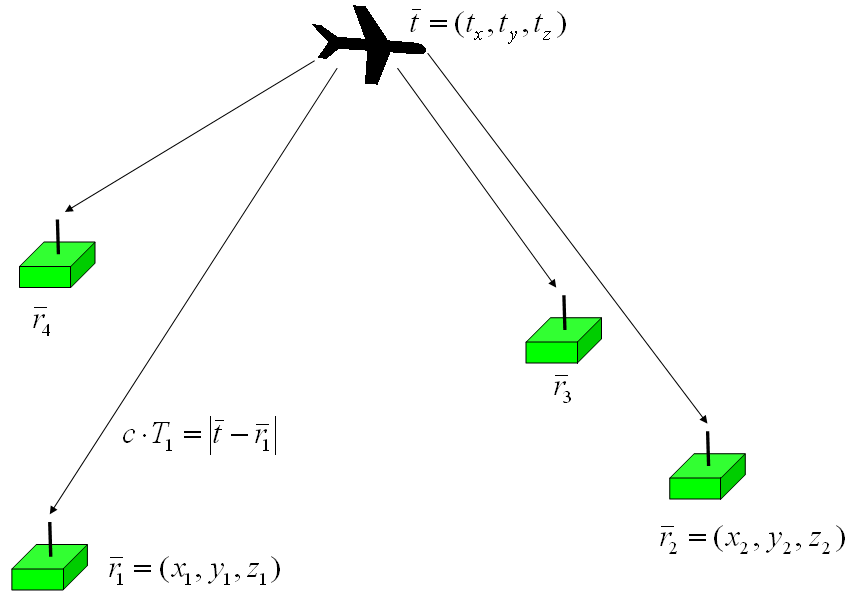
¹ BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriuma; szullo@mht.bme.hu

² BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriuma; seller@mht.bme.hu

³ Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com

⁴ TOA - Time of Arrival - A jel indítása és vétele között eltelt idő.

⁵ TDOA - Time Difference of Arrival - Az egyes vételi helyeken mért a jelekhez hozzárendelt abszolút idők különbsége



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.

$$c \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ T_{diff,1} \\ T_{diff,2} \\ \dots \\ T_{diff,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |\bar{t} - \bar{r}_0| - |\bar{t} - \bar{r}_1| \\ |\bar{t} - \bar{r}_1| - |\bar{t} - \bar{r}_2| \\ \dots \\ |\bar{t} - \bar{r}_N| - |\bar{t} - \bar{r}_0| \end{bmatrix} \quad (1)$$

A TDOA értékek és a keresett pozíció közti kapcsolatot egy nemlineáris egyenletrendszer (1) 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-hiperboloidok 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.

$$A_n = \frac{2x_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2x_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (4)$$

$$B_n = \frac{2y_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2y_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (5)$$

$$C_n = \frac{2z_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2z_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (6)$$

$$D_n = c \cdot T_{diff,n} - c \cdot T_{diff,1} - \frac{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}{c \cdot T_{diff,n}} + \frac{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (7)$$

$$c \cdot T_{diff,n} = R_n - R_0 \quad (8)$$

$$R_n = |\bar{t} - \bar{r}_n| \quad (9)$$

A multilateráción alapuló pozíció meghatározás a közel síkbeli vevő elrendezés következtében nem alkalmas magassági érték meghatározására. 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.

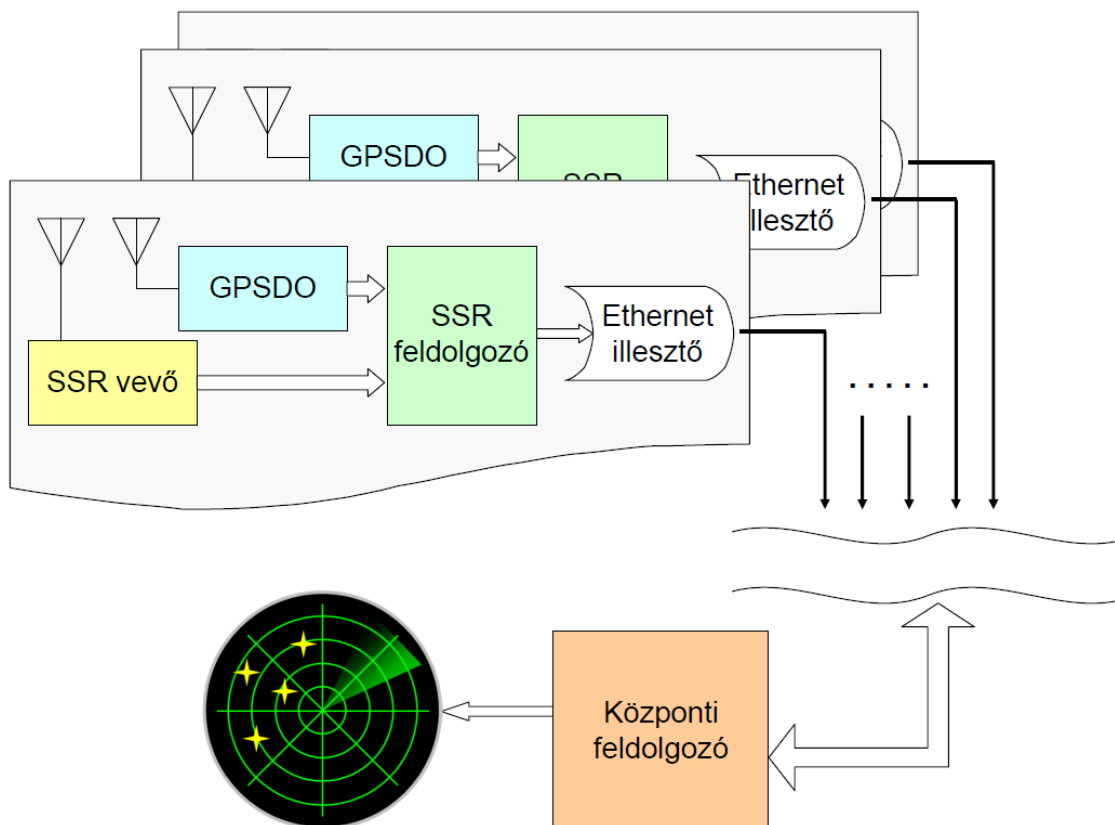
WAMLAT RENDSZER [5]

A kiépítésre került WAMLAT rendszer multilaterációs technika segítségével polgári légi eszközök pozícióinak meghatározását tűzte ki célul. Az egyes járművek fedélzetén megtalálható SSR⁶ 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

⁶ SSR – Secondary Surveillance Radar – szekunder radar

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]

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 csatló 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 (3. ábra). [4]



3. ábra Rendszer blokkvázlat

SSR vevő

A transzponderek által kibocsátott jelek vétele egy speciális, erre a célra kifejlesztett mikrohullámú eszközzel történik. Az 1090 MHz-es jelekből többfokozatú szűrés-lekeverés során a logaritmikus erősítő által előáll a jel kvázi burkolója, melyet a zajszinthez képest adaptívan komparál, így előáll egy bináris adatfolyam.

GPSDO⁷

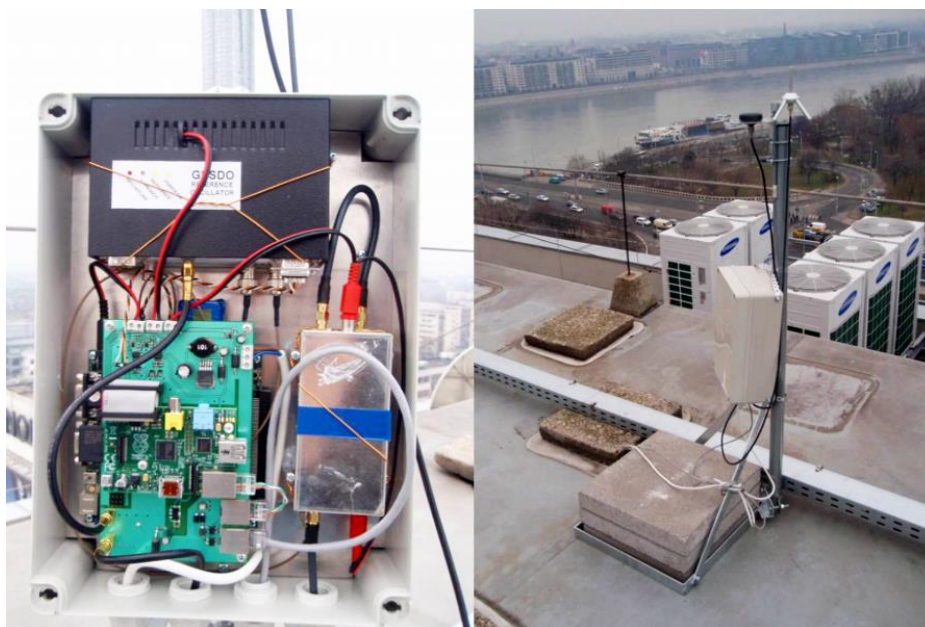
Az előzőek alapján ismert, hogy a multilaterációs mérés feltételezi az egyes vevőállomások szinkronizációját. Az egyes állomások közötti távolság miatt egy szinkronizációs összeköttetés kiépítése gazdaságilag nem kifizetődő. A költségvonzat és pontosság alapján a leghatékonyabb megoldás a GPS rendszer által sugárzott rádiójelek vételén alapuló megoldás. Ismert, hogy a GPS atomóra pontosságot követel meg az egyes műholdak fedélzetén, ez a helymeghatározás pontosságának biztosítása végett szükséges. E tény lehetővé teszi, hogy egy GPS vevő nagy pontossággal meghatározhassa a világ-időt.

Egy GPS vevő a nagy pontosságot az úgynevezett PPS⁸ jelkimenet segítségével biztosítja; ez egy másodpercenkénti impulzus, mely átlagosan nagy pontosságú a koordinált világidőhöz (UTC) képest.

SSR feldolgozó

Az SSR vevő által szolgáltatott komparált értékeket a vevőben elhelyezett digitális rendszer dolgozza fel. A vevő komparált kimenetének nagysebességű mintavételezése által előáll egy folytonos, bináris soros adatfolyam. A mintavételezés 100 MHz feletti sebességgel történik (a mintavételező órajel szinkronban van a GPSDO által biztosított órajellel), ez biztosítja a 10 ns alatti időmérési felbontást. Az egyes SSR üzenettípusok a megfelelő szűrők segítségével kerülnek detektálásra az adatfolyamból. Egy-egy szűrő végzi a Mode-A és Mode-C valamint a Mode-S üzenetek detektálását. Az üzeneteket egyik esetben sem dekódoljuk.

A vett üzenetek azonosítója és a vétel ideje egy bufferbe kerülnek, innen az Ethernet illesztő segítségével jutnak el a központi feldolgozóba.



4. ábra Vevőállomás (BME E épület)

⁷ GPS Disciplined Oscillator

⁸ Pulse Per Second – másodpercenkénti impulzus



ETHERNET ILLESZTŐ

A rendszer rugalmasságának növelése érdekében az egyes állomások Ethernet illesztői jelentős változáson estek át. A korábbi gyakorlattal ellentétben nem a központi feldolgozó csatlakozik az egyes vevőkhöz, hanem azok csatlakoznak a központi feldolgozóhoz. Az új megoldásnak köszönhetően nem kell tudni az egyes állomások IP címeit, mely a korábbi megoldás esetén problémákat okozott, tekintve, hogy a legtöbb internet szolgáltatás dinamikus IP cím kiosztást alkalmaz, így az IP címek időről időre megváltoznak. A korábbi megoldás másik hátránya is megszűnt, azaz, mivel általában egy lokális hálózaton keresztül valósul meg a kapcsolat, a feldolgozóból kiinduló kapcsolódási kísérletek engedélyezéséhez úgynevezett port-nyitást kellett létrehozni a lokális hálózat határrétegén (általában ez egy router).

Az új megoldás segítségével szinte konfiguráció mentesen a hálózatra lehet kötni a vevőállomásokat. Elmondható, hogy ahol van megfelelő sebességű internet kapcsolat, ott az eszköz gyorsan telepíthető, gyakorlatilag elegendő az UTP kábelt a routerhez/switchhez csatlakoztatni, és bekapcsolni az állomást.

Az Ethernetes illesztést jelenleg egy bankkártya méretű mikroszámítógép valósítja meg. Ezen eszköz végzi el a lokális hálózathoz való csatlakozáshoz szükséges protokollok végrehajtását, valamint a központi feldolgozóhoz való csatlakozást. Amennyiben nincs kiépült kapcsolat, az állomás periodikusan próbálkozik csatlakozni a központhoz. Amikor létrejött a kétirányú kapcsolat, nem csak a mérési adatok feltöltésére van lehetőség, hanem a központból történő vezérlésre, paraméterállításra vagy akár szoftverfrissítésre is. A mikroszámítógépen nagy megbízhatóságú operációs rendszer fut, ezen felül több védelmi elem is beépítésre került a megbízhatóság növelésére. A mikroszámítógép ezen felül felügyeli és monitorozza a vevőállomás többi részegységét, méri a tápellátás állapotát, valamint a hőmérsékletet is.

KÖZPONTI FELDOLGOZÓ ÉS WEBSZERVER

Ahogy már említve volt, a fő tervezési szempontok a nagyfokú rugalmasság és a jövőbeli bővíthetőséget figyelembe vevő skálázhatóság. Emiatt a feldolgozó szoftver több - részfeladatok szerint szétosztva - program modulból áll.

Szoftver komponensek:

- vevőmodulok;
- előfeldolgozó modul;
- fő feldolgozó modul;
- felügyeleti modul;
- megjelenítő modul;
- webszerver.

Vevőmodul

Ezen szoftverkomponens végzi el egy állomás bejövő kapcsolódási kérelmének feldolgozását, valamint a kapcsolat felépülése után az adatok vételét és részleges dekódolását. A kinyert ada-



tokat az előfeldolgozó modulnak küldi el. Több vevőállomás lekezelése érdekében a vevőállomások számával megegyező számban párhuzamosan fut több ilyen modul. Program szinten ezek megegyeznek, csupán paraméterezésükben térnek el egymástól. Emiatt a rendszer további vevőállomások általi bővítése könnyen kivitelezhető.

Előfeldolgozó modul

A vevőállomások által küldött adatokat összegyűjti a vevőmodulokból, és továbbítja – immár összefogva – a fő feldolgozó modul felé.

Fő feldolgozó modul

A vevőállomások által vett adatokban intenzív kereséssel megkeresi a feltételezhetően egy jelcsoomaghoz tartozó mérési értékeket, majd a vevőállomások által küldött korrekciós tényezővel javítja az időmérés pontosságát. Az egyes - feltételezett - jelcsoomagokra elvégzi a multilaterációs algoritmust, mely többszálú végrehajtás segítségével optimálisan használja ki a rendelkezésre álló erőforrásokat. A kapott eredmények alapján a hibás eredményeket kiszűri, az elfogadhatónak vélt eredményeket továbbítja a megjelenítő modul felé.

Kutatási célokból az ADS-B üzenetekből kinyerhető GPS koordináták és az ezen üzenetekre elvégzett multilaterációs pozícióbecslés eredményét külön fájlba kiírja a fő feldolgozó modul. Ezzel számszerűsíteni lehet a multilateráción alapuló módszer pontosságát.

Felügyeleti modul

Folyamatosan monitorozza az egyes szoftverkomponensek állapotát.

Megjelenítő modul

Ezen modul végzi el a fő feldolgozó modul által szolgáltatott pozícióbecslési eredmények megjelenítését. Jelenlegi állapotban a mérési pontokon felül a vevőállomások helyei, valamint néhány objektum, úgy mint Budapest határvonala, a Duna Budapesten belüli szakasza valamint a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér futó- és guruló pályáinak körvonala kerül megjelenítésre. Utóbbiak vektorgrafikus módon vannak tárolva és kirajzolva. A térkép skálázása a vevőállomások pozíciói alapján történik, az alkalmazott vetület távolságtartó. Az alkalmazott skálázási módszer miatt egy jövőbeli rendszerbővítésre a megjelenítő automatikusan fog alkalmazkodni.

A kirajzolt eredményeket másodpercenként képfájlba kiírja, így az felhasználható webes megjelenítéshez is. A megjelenítő több utánvilágítási idejű eredményt generál, amelyek közül a weboldalon lehet választani.

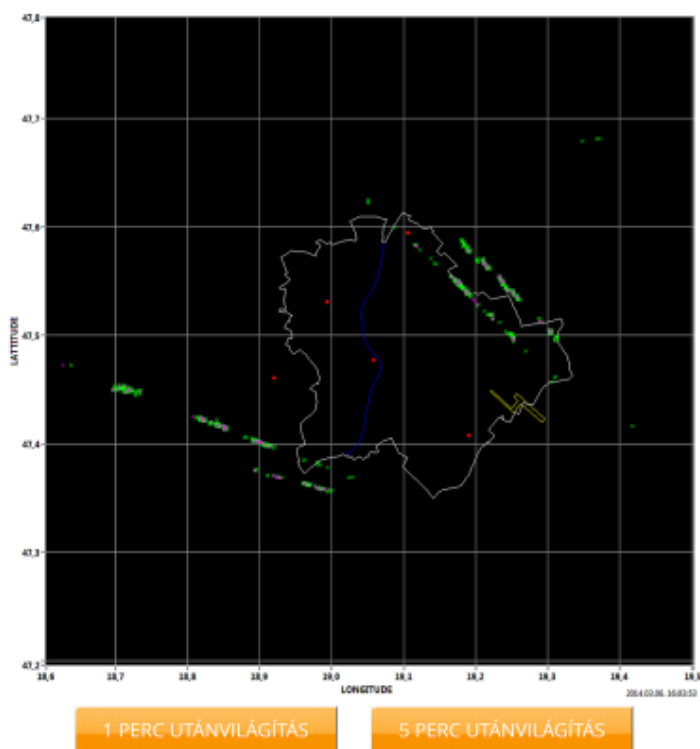
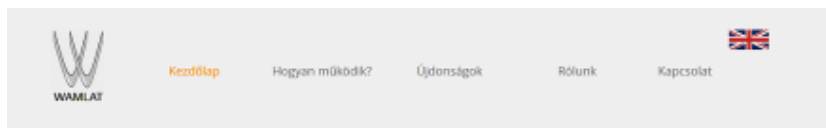
Webszerver





A radarrendszer által előállított mérési eredmények valós-idejű elérését a webszerver teszi lehetővé. A legegyszerűbb esettől eltérően az alkalmazott megoldás több fizikai számítógépet használ a felhasználók felől érkező terhelés megosztására. Külön számítógép felel a változó tartalom - jelenleg a különféle utánvilágítási idejű radarképek - szolgáltatásáért, míg egy másik szolgáltatja a többi webes tartalmat (statikus képek, html fájlok).

A szerver struktúra is a nagyfokú rugalmasságot figyelembe véve került kialakításra, igény esetén könnyen skálázható, melyre a várható látogatószám növekedése esetén lehet szükség.

EREDMÉNYEK

Az 5. ábrán látható a weblap (<http://radarlab.mht.bme.hu/~wamlat/>) kezdőoldalának képernyőmentése (2014.03.06 16:03). A design kialakítása során törekedtünk a letisztult, átlátható kialakításra. A megjelenítésnél 1 és 5 perces utánvilágítási idő választható. A radarkép alatt jelmagyarázat segíti az eligazodást. A weboldal további lapjain többek között rövid leírás érhető el a rendszer működéséről.

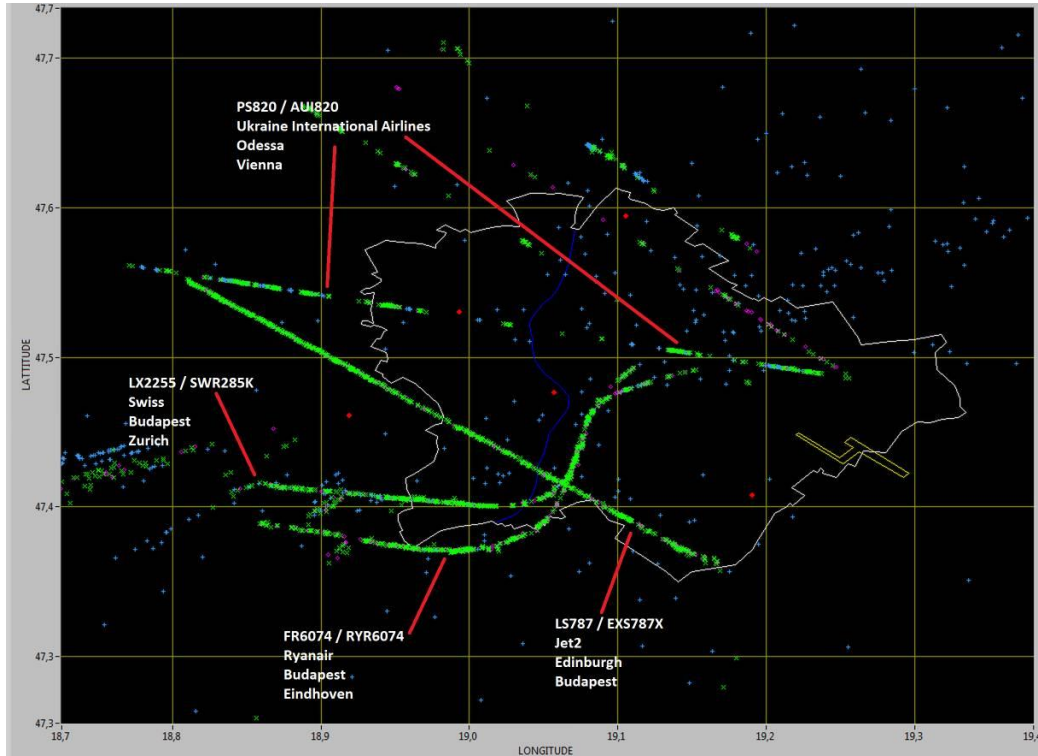


Jelölés	Leírás
	a vevőállomások elhelyezkedése
	pozícióbecslés ADS-B típusú jelcsomagból
	pozícióbecslés Mode S típusú jelcsomagokból (kivéve ADS-B típus)
	Mode A és Mode C jelcsomag alapú pozícióbecslés
Fehér sokszög	Budapest határa
Szíttékék vonal	Duna
Sárga sokszög	Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér

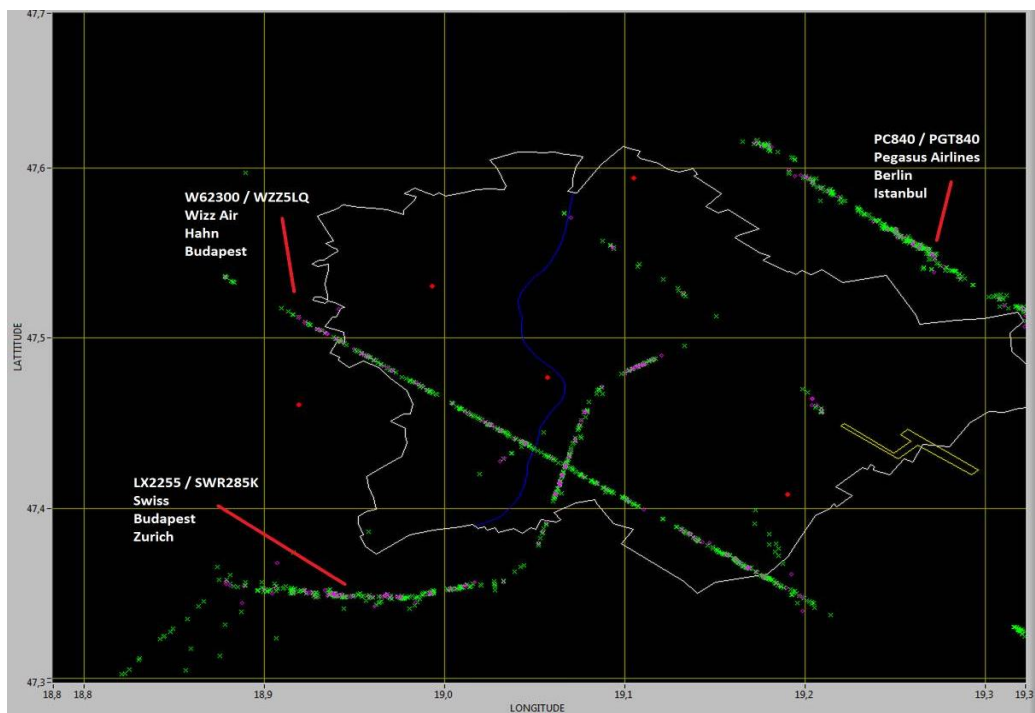
WAMLAT. Wide Area Multilateration.

Multilateráción alapuló pozíciómeghatározás
Budapest területét lefedő passzív radarrendszer

A 6. ábrán látható két felszálló és két áthaladó repülőgép pályája. A járatok adatai a mérésrel párhuzamosan a <http://www.flightradar24.com/> weboldal segítségével kerültek megállapításra. A világoskék pontok a Mode-A és Mode-C jelek alapján becstült pozíciókat jelölik. Megfigyelhető hogy az így előállt eredmények között meglehetősen magas a fals beütések száma. A zöld pontokkal jelölt, Mode-S alapú multilateráció viszont láthatóan jó eredményt ad.

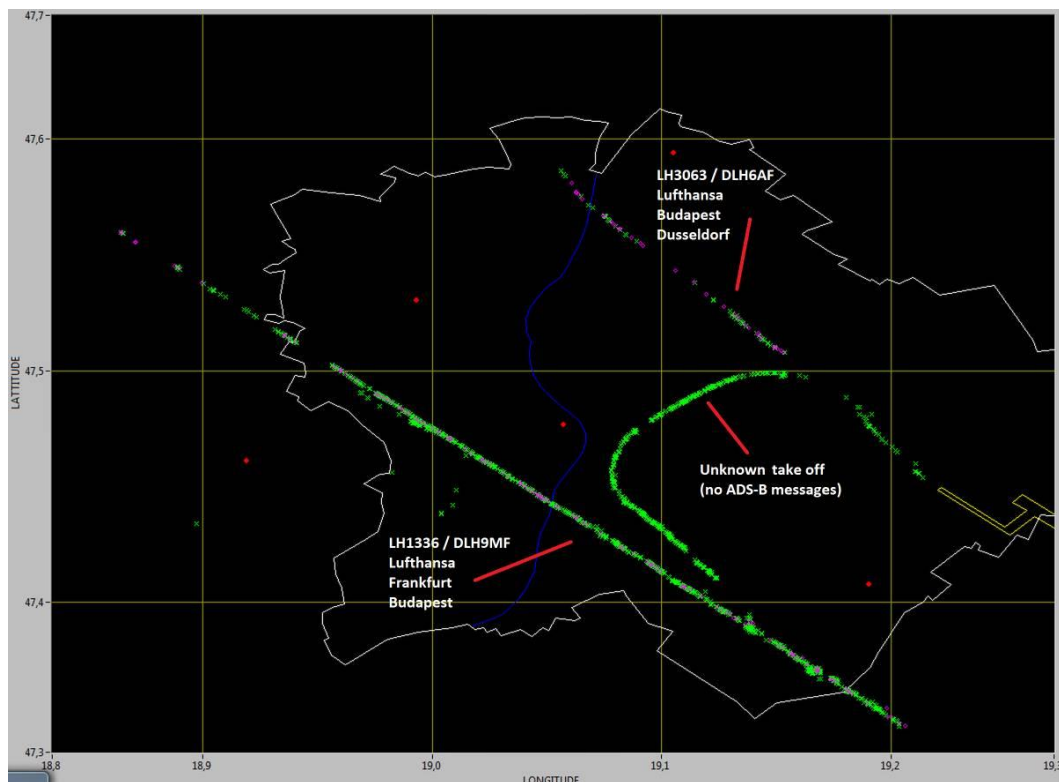


6. ábra Felszálló és átrepülő járatok



7. ábra Mode-S üzeneteken alapuló multilateráció

A 7. ábrán csak a Mode-S típusú válaszüzeneteken alapuló multilaterációs pozícióbecslés eredménye látható. A járatok adatai a már említett weboldal segítségével kerültek meghatározásra.

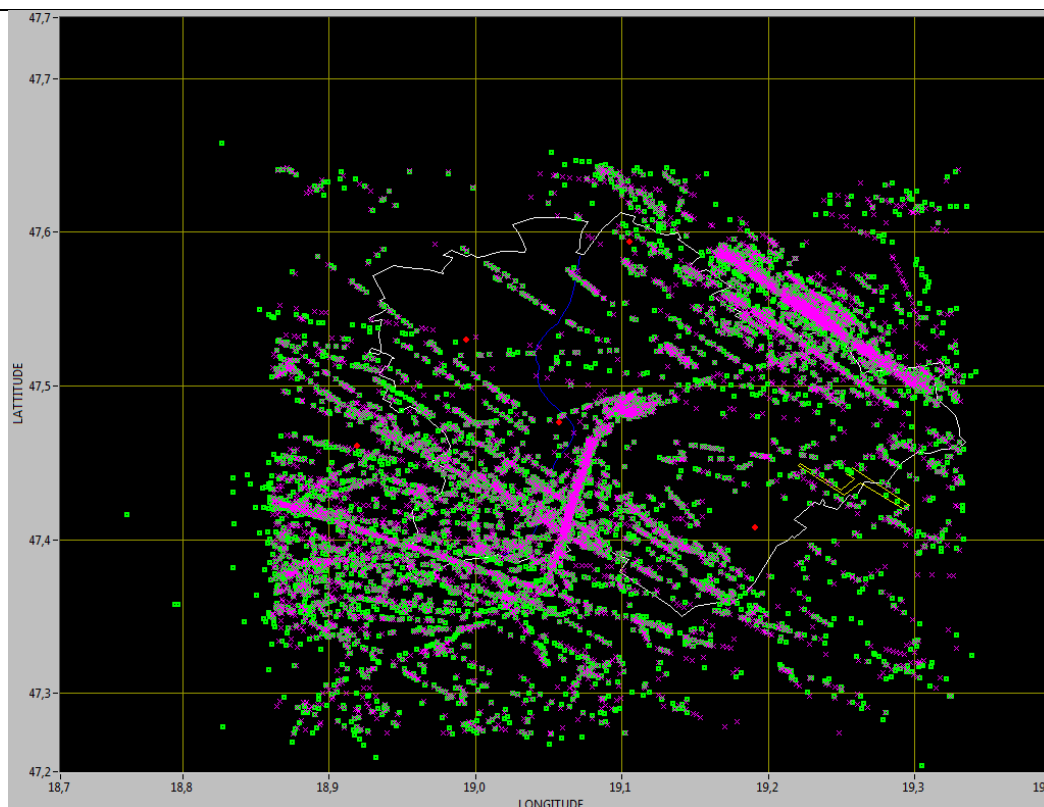


8. ábra Azonosítatlan légi jármű

Az említett <http://www.flightradar24.com/> weboldalon is lehetséges az egyes járatok nyomon követése. Az ott alkalmazott módszer az ADS-B típusú üzenetek dekódolásán alapul. Ez az üzenet típus a Mode-S üzenetek egy változata, amely tartalmazza a repülőgépek fedélzeti GPS vevői által számolt pozíciókat is. A 8. ábrán látható egy olyan felszálló repülőgép pályája, amely az említett weboldalon egyáltalán nem látszódott, ennek oka pedig az, hogy nem sugárzott ADS-B típusú üzeneteket, míg más típusú Mode-S üzeneteket igen. Emiatt a WAMLAT rendszer sikeresen detektálta, és kirajzolta a multilateráción alapuló pozícióbecslési eredményeket.

A WAMLAT rendszer pozícióbecslési pontosságának meghatározása egy hosszú távú mérés segítségével lett elvégezve, amely a 9. ábrán látható. A lila pontok az ADS-B típusú üzenetekből dekódolt pozíciókat jelentik, míg a zöld pontok az ezen üzenetekből, multilaterációval becsült pozíciókat jelentik. A pozíciómérési hiba alapja ezen mérési pont-párok közötti távolság, melyet a haversine formula segítségével kapunk meg.

A távolságkülönbségek átlaga 330 méterre, míg a medián érték 128 méterre adódott. A két hibaszámítási módszer aránya 2,6:1-hez. Kétdimenziós normális eloszlást feltételezve ez az arány 1,06:1-hez. A hibaértékek eloszlását megvizsgálva néhány outliert találtunk. Ennek valószínűsíthető oka, a fedélzeti GPS által szolgáltatott adatok késleltetéssel kerülnek leküldésre, így azok eltérnek a tényleges pozíciótól. A medián értékből kiindulva a rendszer pontossága nagyjából 150m.



9. ábra Hosszú távú mérés

ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredmények alapján belátható, hogy a WAMLAT rendszer jó korrelációt mutat a független forrásból (ADS-B üzenetek) származó adatokkal. A rendszer alkalmas lehet a légiforgalmi irányítás számára kiegészítő adatok szolgáltatásával. Egy jövőbeli rendszer alacsony költségű komponensekből építhető fel, mely az egész országot képes lefedni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket nyilvánítják A Magyar Közlekedési Mérnökképzésért Alapítványnak a WAMLAT projekt támogatásáért.

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 2002/15(2), pp. 507–520.
- [2] FANG, B.T. Simple solutions for hyperbolic and related position fixes. IEEE Trans. Aerosp. Elect. Systems 1990/26(5), pp. 748–753.
- [3] POTIER, ERIC – TSG Manual on Multilateration Surveillance, ICAO, Montreal, 2007.
- [4] SZÜLLŐ ÁDÁM Passzív radarrendszer a légi felderítésben – WAMLAT. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2012/2, pp. 706–717.
- [5] SZÜLLŐ ÁDÁM Multilateráció a gyakorlatban - WAMLAT pilotrendszer. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2013/2, pp. 700–709.

Pető Tamás¹ – Dudás Levente² – Seller Rudolf³

DVB-T ALAPÚ PASSZÍV RADAR⁴

A passzív radar rendszerek a hagyományos telekommunikációs és műsorszóró jeleket felhasználva is képesek a céltárgyak érzékelésére. Mivel a passzív radarok tervezése folyamán általában egy már létező, kiépített rendszer lehetőségeit próbájuk meg kihasználni, olyan egyedi nehézségekkel kell megbirkóznunk, melyeket a hagyományos radarok tervezésénél például a sugárzott jelalak vagy akár a működési frekvencia megválasztásával alapvetően kiküszöbölhetünk. Az alkalmazott megvilágítási forrás tulajdonságai pedig alapvetően határozzák meg rendszer teljesítőképességét. Egy hatékonyan működő rendszer kialakításra azonban remek lehetőséget kínál a Digitális földfelszíni műsorszóró (DVB-T) jel a korrelációs tulajdonságainak köszönhetően. Most, hogy az eddig leküzdhetetlen akadályt állító technológia korlátok kezdenek eltűnni, az elméleti kutatások mellett kiemelt szerepet kap a rendelkezésre álló eszközökkel való realizálhatóság vizsgálata is. A dokumentum egy DVB-T jelet felhasználó passzív radar megvalósíthatósági kísérletét mutatja be, egyszerűsített modelleket felhasználva.

DVB-T BASED PASSIVE RADAR

The passive radar systems are able to detect targets using only traditional telecommunication or broadcast signals. During the design of a passive radar we are trying to exploit the opportunities of an already existing system, thus we need to face such problems that could be simply eliminated e.g. during the design of the transmitted signal or the operation frequency of a traditional active radar. The properties of the used source of illumination essentially determines the overall performance of the system. The Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T) signal has beneficial properties from our viewpoint, therefore it offers a great opportunity to develop an effectively operating system. Nowadays passive radars are gaining ground and become more popular. Now, that the so far insurmountable technological limitations begin to disappear, beside the theoretical researches the investigation of realizations with the recently available hardware technologies are becoming more important. This paper presents a feasibility experiment of a DVB-T based passive radar using simplified models.

BEVEZETŐ

A passzív radar rendszerek anélkül képesek detektálni és követni céltárgyakat, hogy a céltárgyakat megvilágító forrásokkal együttműködnének. Aktív radarral történő felderítés során a rendszer kisugároz egy jól specifikált radarjelet, amelyet a céltárgyról reflektálva majd detektál. A passzív radarok ezzel ellentétben nem sugároznak, hanem a környezetükben lévő, egyéb forrásoktól származó jeleket használják fel a céltárgyak észlelésére. Mivel a rendszer nem sugároz ki semmilyen mérőjelet a céltárgyak észleléséhez, ezért nem detektálható és így nem is zavarható. A passzív radaroknak ezért nincs is szükségük dedikált adóegységre sem, emiatt az üzemeltetésük és gyártásuk is jelentős mértékben olcsóbb.

¹ egyetemi hallgató, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, petotamas.mk@gmail.com

² egyetemi tanársegéd, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, dudas@mht.bme.hu

³ egyetemi adjunktus, BME – Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék, seller@mht.bme.hu

⁴ Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Köszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvéd-tisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com

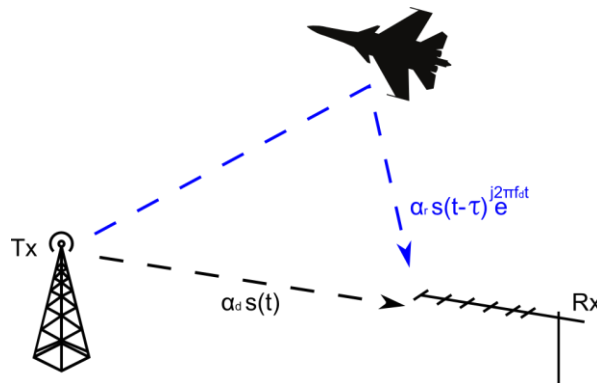
A számos előnyös tulajdonságának köszönhetően az utóbbi időben megnövekedett számú tudományos publikáció foglalkozik a passzív elven működő radarok működésével [5]. Nagy számban ezek közül behatóan tanulmányozza a lehetséges megvilágító források képességeit. [5][7]. Az eddigiekben kivizsgált megvilágító források közül a DVB-T jel kiemelkedően jó korrelációs tulajdonságokkal rendelkezik, ezért alkalmas a passzív elven működő radarok referencia forrásaként való felhasználására.

A dokumentum célja, hogy az eddigiekben elméletben részletesen kivizsgált eljárásokat gyakorlati mérési eredményeken keresztül igazolja.

A MŰKÖDÉS ALAPELVE

A szakaszban röviden bemutatásra kerül a passzív radarok egy leegyszerűsített modellje, amely alapján megérthető a detektálás alapvető koncepciója.

Az 1. ábra a radar működését illusztrálja. Az adótoronyból kisugárzott műsorszóró jel a közvetlen terjedési úton kívül számos más reflexiós úton keresztül is eljuthat a radar vevőantennájához. A legegyszerűbb modell felépítéséhez a különböző terjedési utak közül azonban elegendő kizárólag két úttal számolni. Ezek a közvetlen úton érkező jel és egy az érzékeltetni kívánt repülőgépről reflektált jel.



1. ábra Passzív radar főbb jelútjai⁵

Az eltérő utakon terjedő jelek egymástól függetlenül csillapítódnak. Jelöljük a direkt út csillapítását α_d -vel, valamint a reflektált jelút csillapítását α_r -el.

A csillapítás mellett mindkét jel a véges terjedési sebességek miatt eltérő idő késleltetéssel érkezik meg a vevőhöz. Jelöljük repülőgépről reflektált jel és a direkt úton érkező jel időkésleltetésének különbségét $\tau = t_r - t_d$ -vel.

A mozgó repülőgépről visszavert jel a repülőgép sebességétől, irányától és a geometriai helyzetétől függően valamekkora Doppler-eltolódást is szenved. Ezt a frekvencia eltolást jelöljük f_d -vel. A radar vevőantennája tehát ennek a két jelnek az összegét fogja venni.

Matematikailag ezek alapján az $r(t)$ vett jelet a következő képen írhatjuk le:

⁵ forrás: a szerző saját készítésű ábrája

$$r(t) = \alpha_d s(t) + \alpha_r s(t - \tau) e^{j2\pi f_d t} \quad (1)$$

A vett jel tehát tartalmazza a közvetlen úton érkező adótorony által kisugárzott jelet, valamint ugyanezen jel időben és Doppler-frekvenciában eltoló változatát.

A detektálás során ezért a célunk, hogy a vett jelben megkeressük a közvetlen úton érkező jel vagy más néven referenciajel időben τ -val késleltetett és f_d Doppler-frekvenciával eltoló másolatát. Ez praktikus korreláció számítással tehető meg. A vett jel autokorrelációs függvényének kiszámításával, azokon a helyeken kapunk maximális jel-zaj viszony értékű csúcsokat, ahol a vett jel a lehető legjobban egyezik meg önmaga időben késleltetett változatával. A direkt úton érkező jellel korreláltatva a reflektált jelet akkor kapunk azonban csak maximális kiemelés, ha a direkt úton érkező jelet korrigáljuk ugyanazzal az f_d Doppler-frekvenciával amivel a reflektált jel is eltolódik az adótorony által kisugárzott jelhez képest. Mivel a céltárgy sebességét és így a Doppler frekvenciáját nem ismerjük, ezért a referenciajelet az összes lehetséges Doppler-frekvenciával el kell tolnunk.

A következőekben bemutatott modellben az egyszerűségekre való tekintettel feltételezzük, hogy kizárólag egy csatorna áll rendelkezésünkre a céltárgyak detektálásához. Mindazonáltal a referenciajel és a céltárgyról érkező visszavert jel elkülönített vétele a rendszer képességeit drasztikus mértékben képes növelni.

A detektálás során tehát első lépésként előállítjuk a vett jel különböző Doppler-frekvenciában eltoló változatait, majd az így előállított segédjelek mindegyikét korreláltatjuk az eredeti vett jellel. Az egyes korrelációs függvények sokaságából így összeállíthatunk egy kétdimenziós függvényt, amelynek maximumai azokat az időpontokat és Doppler-frekvenciákat jelölik, ahol a reflektált jelet is tartalmazó vett jel a lehető legjobban illeszkedik a műsorszóró adótorony által sugárzott aktuális jellel.

Az előzőek alapján a repülőgép detektálását az alábbi kétdimenziós Doppler-eltolás keresztkorrelációs függvény kiszámításával végezhetjük el:

$$\chi(\tau, f_d) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) r^*(t - \tau) e^{j2\pi f_d t} \quad (2)$$

A kereszt-korreláció számítás megegyezik azzal, mintha a jelet átengedtük volna egy illesztett szűrőn. A Doppler-eltolás korrelációs függvény ez alapján egy olyan illesztett szűrő bank kimenetét reprezentálja, ahol az illesztett szűrő bank a vett referenciajeltől és annak Doppler-frekvenciában eltoló változataiból készült el. A következő fejezetben ennek az illesztett szűrőbanknak a hatékonyságát vizsgáljuk meg, a használt referenciajel függvényében.

MEGVILÁGÍTÓ FÜGGVÉNYEK ANALÍZISE

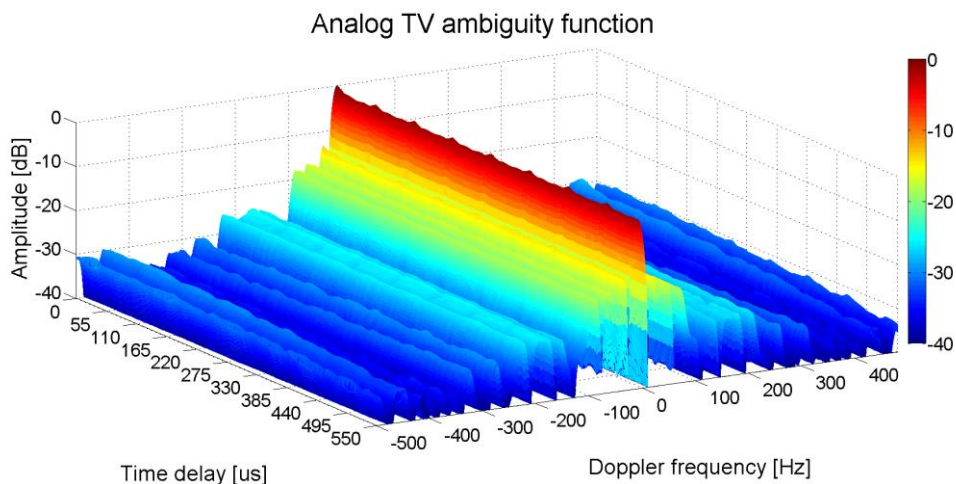
Mivel a jelfeldolgozó algoritmusokban korreláció számítást alkalmazunk, ezért a felhasznált megvilágító jel korrelációs tulajdonságainak vizsgálata meghatározó jelentőségű a passzív radar hatékony működésének szempontjából. A megvilágító jel alkalmazásában rejülő lehetőségek

elemzéséhez a jel egyértelműségi függvényét kell kivizsgálunk. Az egyértelműségi függvény kiszámítási módja jelen esetben (egy csatornás vétel) megegyezik az első szakaszban közölt detektálás során számítandó Doppler-eltolás korrelációs függvénnyel (2). Amennyiben egy jel, az időben és Doppler-frekvenciában eltolt változataival igen jól korrelál, az azt jelenti, hogy az illesztett szűrő bank nem tud hatékonyan működni, mert a szűrők kimenetei között nincs elegendően nagy dinamika.

A bemutatott egyértelműségi függvények MATLAB segítségével kerültek kiszámításra. A maximális Doppler frekvencia eltolást 500 Hz-re lett megválasztva egy átlagos céltárgy sebességének megfelelően. Az egyértelműségi függvények kiszámítása során a koherens integrálási idő hozzávetőlegesen 60 ms.

Analóg TV jel

A (2.) ábra a Magyarországon is használt analóg TV adás egyértelműségi függvényét ábrázolja. Az analóg TV adás egyértelműségi függvénye az ábráról is kivehetően közel sem biztosít elegendően nagy dinamikatarományt a reflexiók detektálásához.



2. ábra Analóg TV jel bizonytalansági függvénye⁶

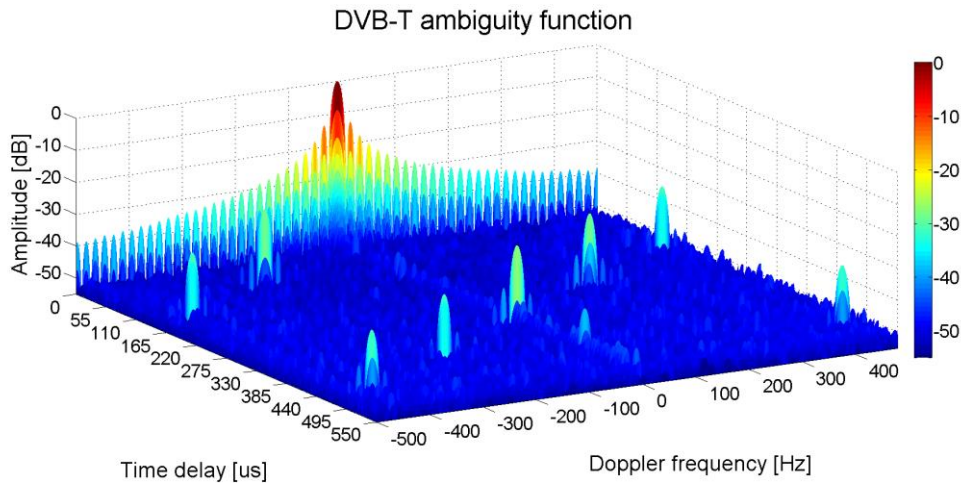
Általánosságban elmondható, hogy egy jel akkor rendelkezik kedvező korrelációs tulajdonságokkal, ha spektrálisan jól szétterített, azaz zajszerű a felépítése [3]. Az analóg TV jel a képinformáció átviteli módjából, és a beépített szinkronjelekből adódóan nem teljesíti ezeket a spektrális feltételeket.

DVB-T jel

A Digitális földfelszíni televíziós műsorszóró jel azonban a felhasznált OFDM (Ortogonalis frekvencia nyálábolás) modulációs sémának és az alkalmazott csatorna és forrás kódolásoknak köszönhetően kellőképpen véletlenszerűsített. Az előállított véletlenszerűsített információt egymáshoz relatíve közel lévő szinuszos vivők sokaságára ültetik rá, így zajszerű spektrális felépítést kapunk.

⁶ forrás: a szerző saját készítésű ábrája

A (3.) ábra a DVB-T jel egyértelműségi függvényét ábrázolja. Az ábra alapján a DVB-T jel Doppler-eltolás korrelációs függvénye 50 dB-es dinamikatartománnyal rendelkezik. Ez a dinamikatartomány, (mint az a későbbiekben bemutatásra kerül majd) már elegendően nagy ahhoz, hogy a reflexiókból származó korrelációs csúcsokat azonosítani lehessen. A függvényben megjelenő korrelációs kiemeléseket a jelet felépítő folytonos és szórt pilotjelek okozzák. Ezek a korrelációs csúcsok esetenként megnehezíthetik a céltárgyak detektálását, ezért az eltüntetésükkel érdemes foglalkozni. [3][4][6][8]



3. ábra DVB-T jel bizonytalansági függvénye⁷

PASSZÍV RADAR MÉRÉSI KÍSÉRLET

Előzetes számítások

A szakaszban egy DVB-T jelet felhasználó passzív radar kísérleti mérése kerül bemutatásra. A mérés fő célja a fentiekben bemutatott passzív radar működési elv gyakorlatban való igazolása. A tesztmérés helyszínéül célszerű olyan helyet választani, ahol a mozgó céltárgyak közel haladnak el a radar antennájához, ezáltal viszonylagosan nagy teljesítményszintűek a reflektált jelek. A mérési helyszínéül ezért a Budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérre esett a választás. A tesztmérés előkészítéséhez és az elmélet alapján várható eredmények becsléséhez a hozzávetőleges teljesítményszintek kiszámításra kerültek a bisztatikus radaregyenlet alapján: [1][2]

$$P_{referencia} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 L^2} \quad (3)$$

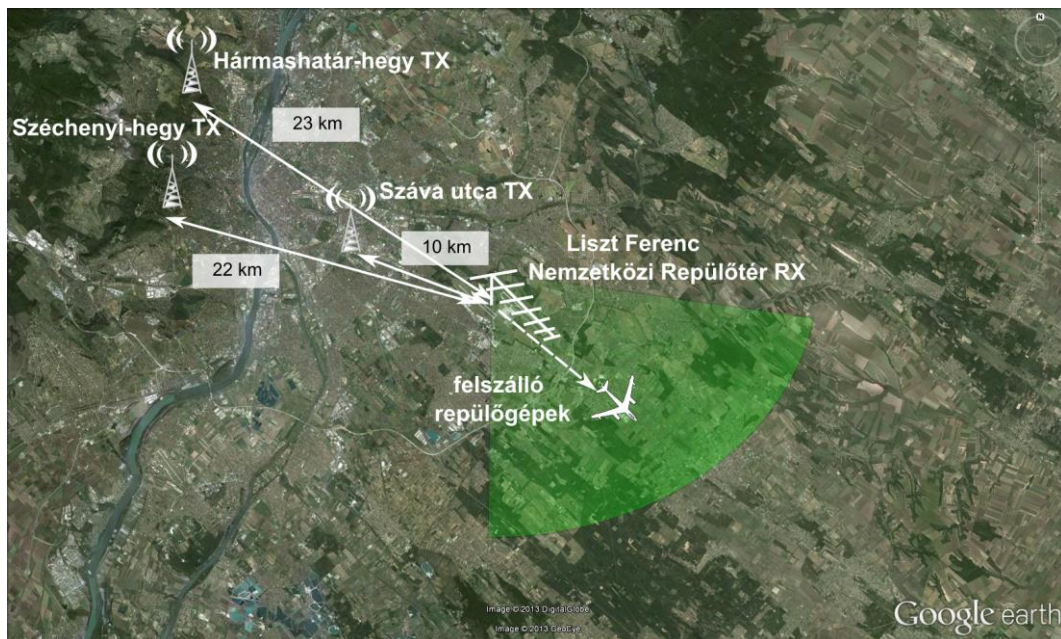
ahol

- $P_t \rightarrow 100 \text{ kW}$ – az adó teljesítménye
- $G_t \rightarrow 1$ – az adó antenna nyeresége
- R_t – az adó és a céltárgy közötti távolság
- R_r – a vevő és a céltárgy közötti távolság
- $\sigma_b \rightarrow 100 \text{ m}^2$ –bisztatikus RCS

⁷ forrás : a szerző saját készítésű ábrája

- $L \rightarrow 26 \text{ km}$ – a vevő és adótorony közötti távolság
- $G_r \rightarrow 1$ – a vevő antenna nyeresége
- $\lambda \rightarrow 0,5 \text{ m}$ – hullámhossz

A használni kívánt 610 MHz-es frekvencián Budapesten jelenleg három DVB-T adótorony üzemel. Ezek a Széchenyi-hegyen, a Hármashatár-hegyen és a Száva utcában találhatók. A számítások alapján a legnagyobb közvetlen úton érkező jelszintet a Széchenyi hegyi adótorony állítja elő a vételi ponton. Ez körülbelül -35 dBm -re adódik.



4. ábra A Budapesten üzemelő DVB-T adótoronyok és a kísérleti radar elhelyezkedése⁸

A DVB-T jel bizonytalansági függvényének ismeretében tudjuk, hogy a reflektált jel minimális jelszintje, 50 dB-el lehet a direkt úton érkező jel teljesítményszintje alatt a detektálás biztosításának érdekében.

A mérések egy 8 elemű 15 dB-es előre-hátra viszonyal rendelkező Yagi antennával készültek. Ennek a vevő antennának a használatával további 15 dB-lel növelhetjük a direkt úton érkező jel és reflektált jel teljesítmény szintje közötti különbséget.

Az előzőek alapján az antenna megfelelő beállításával, a minimálisan észlelhető reflektált jel teljesítményszintje $P_{min} = -35 \text{ dBm} - 15 \text{ dB} - 50 \text{ dB} = -100 \text{ dBm}$ körül várható.

A fenti (4) bisztatikus radaregyenletet átrendezve a minimálisan detektálható reflektált jelszint ismeretében kiszámítható maximális hatótávolság: [1][2]

$$R_t R_r = \sqrt{\frac{P_t \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 P_{min}}} \quad (5)$$

A jelölések megegyeznek a fenti (3,4) összefüggésben összefoglaltakkal.

A maximális becsült távolság ezek alapján 4,3 km-re adódik. A repülőgépről érkező reflektált jel

⁸ forrás : a szerző saját készítésű ábrája

okozta korrelációs csúcs a számítások szerint tehát ettől a távolságtól kezdve válik észlelhetővé.

A következő (6) egyenlet felhasználásával a Doppler-frekvenciára is tehető egy hozzávetőleges becslés. [1][2]

$$f_{Doppler} = \frac{2v}{\lambda} \cos(\Theta) \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (6)$$

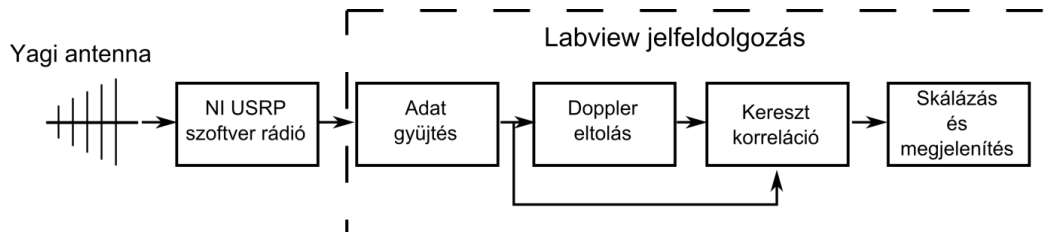
ahol Θ és β a mérés elrendezés geometriai paraméterei. A felszálló repülőgépek átlagos sebessége $330 \frac{km}{h}$ alapján a várható Doppler frekvencia $f_{Doppler} \approx 300Hz$.

A számítások elvégzéséhez a geometriából adódó paraméterek a Google Earth program segítségével kerültek meghatározásra.

A mérési összeállítás

A méréshez az egyszerű tesztkörnyezet felállíthatósága végett alapvetően általános célú hardverelemek kerültek felhasználásra. A rádiófrekvenciás jelek vételére és az adatok gyűjtésére a National Instrument 2920-as univerzális szoftver rádióját használtuk fel. Jelen esetben a teszt-mérés elvégzéséhez ez igen kézenfekvő választás, hiszen a radar elvi működésének kipróbálásához nem szükséges vevő egység tervezése és építése.

A mérés elrendezését az (5.) ábra szemlélteti. A méréshez tervezett Yagi antennáról érkező jeleket a szoftver rádió lekeveri, mintavételezi, majd az IQ mintákat továbbítja egy a méréshez elkészített Labview program számára gigabit ethernet keresztül. Az mért adatok tárolása után a Doppler-eltolás korrelációs függvény számítása offline módon történt.



5. ábra Mérés összeállítás blokkvázlata

A szoftver rádió használata során beállított fontosabb paraméterek a következők voltak:

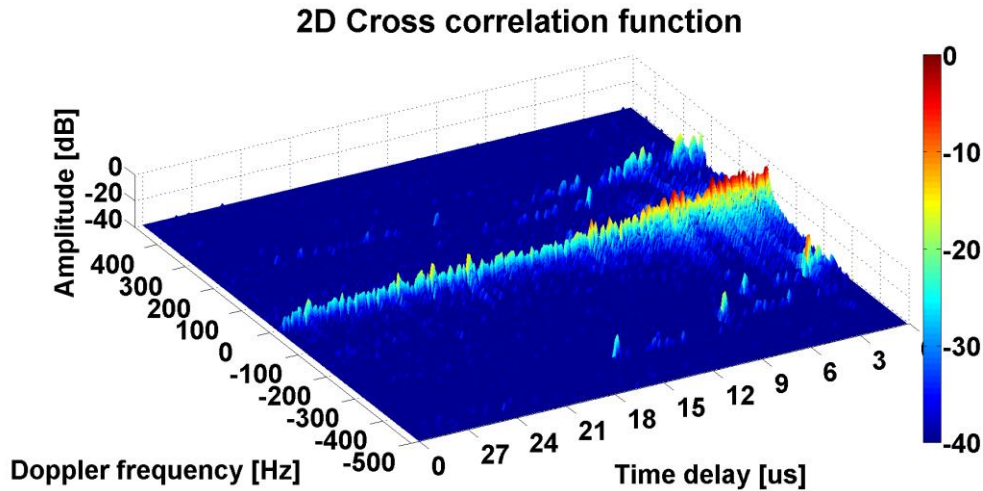
- működési frekvencia $\rightarrow 610 MHz$;
- IQ mintavételi frekvencia $\rightarrow f_s = 9 MHz$;
- bitmélység $\rightarrow 16 bit$;
- gyűjtött minták száma $\rightarrow N = 10^6$.

Az USRP által küldött adatokat egy Labview alkalmazás fogadta és dolgozta fel. A Doppler-eltolás korrelációs függvény kiszámítása a sebesség növelésének érdekében Fourier transzformációval került kiszámításra.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

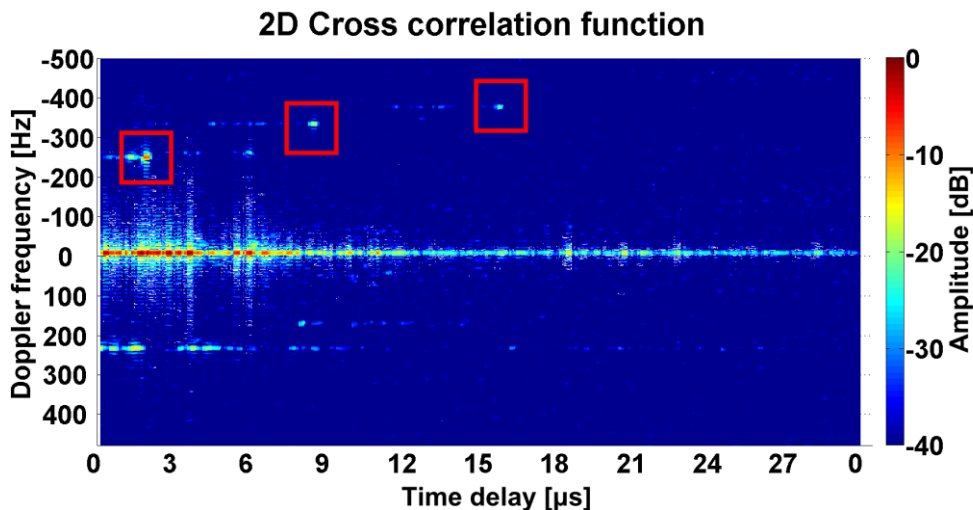
A minták begyűjtése után a (2)-es egyenlet alapján több egymást követő pillanatképre kiszámításra került a Doppler-eltolás keresztkorrelációs függvény. Egy pillanatkép kiszámításához

10^6 mintát használtunk fel, ezt átszámítva 110 ms -ot kapunk a koherens integrálási időre. A pillanatképek eredményeinek összevágásával a (6.) és a (7.) ábrakon prezentált eredmények születtek. Az előzetesen kiszámított 300 Hz -nek megfelelő Doppler frekvencia körül megjelenik egy korrelációs csúcs, amely az idő elteltével mind távolságban, mind pedig Doppler frekvenciában elmozdul a kiszámított korrelációs függvényeken.



6. ábra Kétdimenziós keresztkorrelációs függvény perspektivikus nézete⁹

A mérési eredmények ábráin feltüntetett időeltolódást átszámítva távolságra, a $20\text{ }\mu\text{s}$ -ra 6 km -t kapunk. Az utolsó pillanatképen ahol a céltárgy még teljes bizonyossággal azonosítható volt 14.6 ms -os időkülönbséget mértünk, ez távolságban $2,2\text{ km}$ -nek felel meg. Az eredményeket összevetve, elmondhatjuk, hogy a kiszámítottaknak megfelelő eredményeket kaptunk. A radar mérési alapelve tehát helytállónak bizonyult.



7. ábra Kétdimenziós keresztkorrelációs függvény felülnézete¹⁰

A korrelációs függvényt megvizsgálva, 0 Hz -en meglehetősen sok olyan korrelációs csúcsot találunk, amelyek nem a DVB-T jel felépítéséből adódóan vannak jelen. A radar tehát rengeteg

⁹ forrás: a szerző saját készítésű ábrája

¹⁰ forrás : a szerző saját készítésű ábrája



olyan a műsorszóró adótoronytól származó jelet vett, amelyek a környező tereptárgyakról visszaverődve, több utas terjedésen keresztül jutottak a vevő antennájára. Ez nagy mértékben csökkentheti a hasznos korrelációs csúcsok kiemelkedésének mértékét.

Mindazonáltal a leglényegesebb korlátozó tényező a nagy teljesítménnyel érkező direkt jel, amely az előzetesen becsülteknek megfelelően elfedte céltárgyról távolabbról reflektálódó jeleket.

A különböző adótoronyoktól érkező referencia jeleket ezért nagyságrendekkel ajánlatos csökkenteni a vett jelben ahhoz, hogy a céltárgyról érkező reflexió korrelációs csúcsa elegendően kiemelkedjen a referenciaként használt adások korrelációs függvényének küszöbszintje alól. Erre a feladatra a leghatékonyabb megoldás a referenciajelek kioltása (vagy legalább elégséges mértékben való csillapítása) fázisvezérelt antennarendszer alkalmazásával.

ÖSSZEZGÉS

A modern légtér ellenőrzés és felderítés területén a passzív radar rendszerek egyre nagyobb mértékben kezdenek az érdeklődés középpontjává válni az újonnan elérhető nagyteljesítményű jelfeldolgozó rendszereknek köszönhetően. Egy teljesen passzív elven működő rendszer kifejlesztéséhez az újszerű eljárásokat és módszereket a gyakorlatban is tesztelni kell.

A működési alapelv szimpla kipróbálásához kizárólag két jelútvonallal, valamint egyszerűsített terjedési modellel közelítettük a valóságban várható jeleket. A megvilágítási források közül az analóg TV és a DVB-T jelek kerültek részletesebben kivizsgálásra. Az elérhető dinamikatarományok alapján a DVB-T jel alkalmas a radar referenciaforrásként való felhasználására.

A radar hatékony működéséhez legalább két csatornára lenne szükség, azonban az előzetes számítások alapján már egy csatorna használatával is kipróbálható a detektálás alap gondolata.

A várható eredmények becslése után demonstrációs méréseket végeztünk a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren. A kiszámított korrelációs függvényeken a előzetesen vártaknak megfelelően megjelentek a felszálló repülőgépről visszavert jelek korrelációs csúcsai. A mérési eredményekből szintén igazolást nyert, hogy az adótorony által kisugárzott referenciajel túlzottan magas teljesítményszintje a céltárgyakról reflektált jelek elfedését okozza. A hatótávolság növeléséhez ezért a vett jelben ki kell oltani a nagy szintű referenciajelet. A referenciajel kioltását praktikusán segédantennák, illetve antennarendszer alkalmazásával oldható meg [9].

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatási projektet a nemzeti fejlesztési ügynökség támogatta (NFÜ, Magyarország) az alábbi projekt keretében: Kognitív Módszerű UAV Ütközés Elhárítás Milliméteres Hullámhosszú Radar Alkalmazásával, UWBSRR12, 2012-2015.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MERRILL I. SKOLNIK Radar Handbook, McGraw-Hill Professional; 2 edition January 1, 1990
- [2] NICHOLAS J. WILLIS Bistatic Radar, SciTech Publishing Inc, 2005
- [3] M. RADMARD, M. BASTANI, F. BEHINA, M. M. NAYEBI Cross Ambiguity Function Analysis of the '8k-mode' DVB-T for Passive Radar Application, Radar Conference, 2010 IEEE, Washington, DC, 10-14 May 2010.
- [4] H. ANDREW HARMS, LINDA M. DAVIS, JAMES PALMER Understanding the signal structure in DVB-T signals for passive radar detection, Radar Conference, 2010 IEEE, Washington, DC 10-14 May 2010
- [5] F. BERIZZI, M. MARTORELLA, D. PETRI, M. CONTI , A. CAPRIA USRP technology for multiband passive radar, Radar Conference, 2010 IEEE, Washington, DC 10-14 May 2010
- [6] DIEGO LANGELLOTTI Impact of synchronization on the ambiguity function shape for PBR based on DVB-T signals, Radar Symposium (IRS), 2010 11th International, Vilnius, Lithuania, 16-18 June 2010
- [7] M. RADMARD, M. BASTANI, F. BEHNIA, M. M. NAYEBI Advantages of the DVB-T Signal for Passive Radar Applications, Radar Symposium (IRS), 2010 11th International Vilnius, Lithuania, 16-18 June 2010
- [8] ZHIWEN GAO, RAN TAO, YONGFENG MA, TAO SHAO DVB-T Signal Cross-Ambiguity Functions Improvement for Passive Radar, Radar, 2006. CIE '06. International Conference, Shanghai, 16-19 Oct. 2006
- [9] TAO R., WU H.Z. , SHAN T. Direct-path suppression by spatial filtering in digital television terrestrial broadcasting-based passive radar, Radar, Sonar & Navigation, IET (Volume:4 , Issue: 6), December 2010

Papp István¹

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK ALKALMAZÁSA HARCTÉRI MŰVELETEK SORÁN²

A pilóta nélküli repülőgép (UAV³) – Távolról Irányított Légi Jármű, (RPV), vagy drón⁴, elsősorban katonai feladatokra alkalmazott olyan repülőeszköz, mely valamilyen ön- vagy távirányítással (leggyakrabban a kettő kombinációjával) rendelkezik, emiatt fedélzetén nincsen szükség pilótára. Amennyiben katonai célokra használják, a harci robotok egyik fajtája. Ellentétben a robotrepülőgéppel, mely – lévén saját maga a fegyver – használatakor megsemmisül. A pilóta nélküli repülőgép többször felhasználható. Ilyen repülőeszközöket a katonai repülésben az 1960-as évek óta alkalmaznak. Cikkemben megvizsgálom az UAV-k katonai alkalmazhatóságát a haditengerészet, a szárazföld, valamint a légierő területein.

UNMANNED AIR VEHICLES

The unmanned aerial vehicle (UAV) - Remote Controlled (air) vehicle, (RPV), or drones especially use in military tasks such aircraft for which has a self-or remote control (most often a combination of both), therefore no need for a pilot on-board. If used for military purposes, a type of combat robots. Unlike the robot plane (robot aircraft), which - being itself a weapon - using destroyed. The unmanned aircraft can be used repeatedly. Such flights of military aviation assets used since the 1960s. In this article, I examine the military utility of UAVs for the Navy, the Army and the Air Force areas.

HADITENGERÉSZETI SZEREP

Haditengerészeti alkalmazásban az UAV rendszerek három alkalmazásban nyernek szerepet:

- off-board műveletek;
- off-shore műveletek;
- hosszabb távú műveletek repülőbázisokra.

Minden egyes bázison különféle szerepkörökben alkalmazzák az UAV-eket. Egyes pilóta nélküli légijárművek alacsony magasságban működnek a tengerszint felett néhány méteren. Ebből adódik, hogy érintkezésbe kerül sóval terhelt légkörrel így azt védeni kell a korrózió ellen. A hosszabb távú műveletek során, amikor a légijármű nagy magasságon repül, elkerüli a só által okozott érintkezési problémákat [1].

A haditengerészeti műveleteknek megvan az az előnye, hogy a tenger mérséklő hatása által keltett hűvösebb légköri viszonyok miatt, általában alacsonyabb magasságokon lehetséges az indításuk, más haderőnemek rendszereivel szemben. Ezen UAV-k esetében kisebb a kereslet a magas energia-és hűtési rendszerek iránt. Azonban az UAV nagyobb valószínűséggel találkozhat

¹ főhadnagy, tanársegéd, NKE Katonai Repülő Tanszék, pappi@uni-nke.hu

² Lektorálta: Dr. habil. Krajnc Zoltán alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Összhaderőnemi Műveleti Tanszék, krajnc.zoltan@uni-nke.hu

³ UAV – Unmanned Aerial Vehicle – Pilóta nélküli légijármű

⁴ az angol drone – méh szóból ered



széllel és turbulens levegővel, mint a szárazföldi működtetésű pilóta nélküli rendszerek. A hajófedélzetre kialakított UAV-k tervezése során a másik aggodalomra okot adó tényező, hogy képesek legyenek az intenzív elektromágneses sugárzás elleni árnyékolásra [1].

A haditengerészeti UAV-kel szemben támasztott követelményeket az alábbiak szerint is megfogalmazhatjuk. Az UAV-rendszerek rendelkezzenek:

- gyors felismerő és árnyékoló rendszerekkel;
- radar zavaró rendszerrel;
- rakétazavaró rendszerrel;
- tengeralattjáró elleni zavaró és felismerő rendszerrel;
- aktív hanglokátor;
- passzív hanglokátor;
- mágneses rendellenesség érzékelő;
- rádió kapcsolat;
- kikötői támogatással (mivel a hajók a kikötőben a legsebezhetőbbek);
- távoli felderítő rendszerekkel;
- illegális halászat valamint import jelzése;
- elektronikus intelligencia;

Az utóbbi évek tapasztalatai alapján kijelenthetjük, hogy az UAV rendszerekkel végzett haditengerészeti műveletekkel hatékonyan, megbízhatóan és gazdaságosan hajthatók végre a kapott feladatok. A nagyobb hatótávolságú, a hosszú élettartamú missziók során, a szárazföldi közepes- valamint nagy magasságú, hosszú élettartamú merevszárnyú repülőgépek, mint a Predator vagy a Global Hawk a legmegfelelőbbek. A legtöbb haditengerészeti küldetés során vitathatatlanul a VTOL UAV-k állnak a dobogó élén [1].

SZÁRAZFÖLDI SZEREPEKÖR

Szárazföldi feladatokat számos területen hajtanak végre, szerte a világban, nagymértékben változó domborzati és légköri körülmények között. Ezek között lehet hó, jég valamint ugyanezen hatások nagy magasságban a hegyvidéki területeken. Tovább súlyosbítja a helyzetet, amikor a pilóta nélküli rendszer homok, vagy por viharok által sújtott területen hajt végre feladatokat.

A szárazföldi haderőnem UAV-val szemben támasztott alapkövetelménye, hogy rendkívül mobil legyen, rövid időn belül egy adott zónában teljesítse feladatát. Ezen igényeket a pilóta nélküli rendszerek tervezésének korai szakaszában felismerték és alkalmazzák is [1].

Rejtett felderítés és megfigyelés

A legtöbb hadseregben a felderítő és felügyeleti műveleteket végrehajtó repülőgépek kis vagy közepes hatótávolságúak, és céljuk, hogy kiiktassák rövid távú veszélyeket. Ebben az esetben követelmény, hogy az ellenséges erőket ne figyelmeztesse semmi, (pl: a katapult elindított egy VTOL⁵ UAV-t, a hadszíntéren vagy annak közelében).

⁵ VTOL – Vertical Take-Off and Landing - Függőleges fel- és leszállásra képes

A múltban, amikor az ellenség „beszivárgott” a baráti területre, a felderítő csapatok gyalog, közelítették meg a szemben álló csapatot és úgy próbálták leküzdeni azokat. A mai modern körülmények között az UAV rendszerek jobb megoldást kínálnak.

A felderítés és a megfigyelés feladatkörökre a kézzel indítható mini-UAV rendszerek, mint például az 1. és a 2. ábrán látható Skylite „B” és Desert Hawk, tökéletesen megfelelnek. Ezen típusok az Egyesült Államokban rendszerben állnak. Legnagyobb össztömegük mindössze 3 kg, emellett megvan az az érdekük, hogy viszonylag olcsóak, de hátrányuk viszont, hogy korlátozottak a műveletekben való alkalmazhatóságuk, értem ez alatt a viszonylag kicsi (rövid) hatótávolságot (10 km).



1. ábra A Skylite B mini UAV⁶



2. ábra Desert Hawk mini UAV⁷

A katapulttal indított merevszárnyú UAV-k, mint pl. a Luna (3. ábra) vagy a Sparrow (4. ábra) rendszerek, jobban igazodnak a harctéri műveletekhez, mivel legnagyobb össztömegük a 40-45 kg-ot is eléri, valamint a nagyobb szárnyterhelésnek köszönhetően (20-40 kg/m²) körülbelül az 50 km-es hatótávolságot is elérik [1].



3. ábra. Luna UAV⁸



4. ábra. Sparrow UAV rendszer⁹

⁶ BlueBird – SpyLite System – Skylite „B” kép. Url:

<http://www.sibat.mod.gov.il/SibatMain/HEB/Industry/Industry200/SpyLiteSystem.htm> (2013.03.14)

⁷ Defense Update – International, Online Defense Magazine - Desert Hawk III Supports British Forces in Iraq, Desert Hawk mini UAV kép. Url: <http://defense-update.com/products/d/deserthawk3.htm> (2013.03.21)

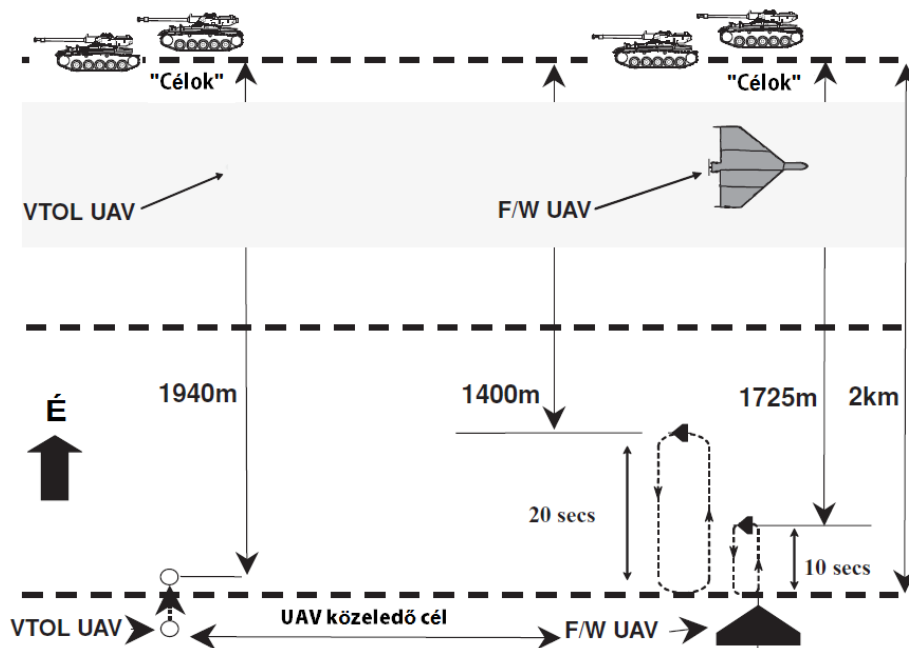
⁸ Luna Aerial Reconnaissance and Surveillance UAV – Army-Technology kép. Url: <http://www.army-technology.com/projects/luna/> (2013.03.23)

⁹ Sparrow Unmanned Shadow 600 UAV kép. Url: <http://www.unmanned.co.uk/autonomous-unmanned-vehicles/uav-data-specifications-fact-sheets/sparrow-unmanned-vehicle-uav-specifications-data-sheet/> (2013.03.25)

A pilóta nélküli rendszerek négy felderítési formát támogatnak, amelyek a következők:

- útvonal;
- zóna;
- területi;
- légi felügyeleti.

Az 5. ábrán azt szemléltetem, amikor két, délről észak felé haladó pilóta nélküli repülőgép célok felkutatását végzi. A bal oldali UAV egy VTOL típusú, míg jobbra egy tipikus katapultrendszer által indított merevszárnyú típus. Tegyük fel, hogy a két UAV repülési sebessége 25 m/s, repülési magassága pedig 300 m. Ebben az esetben a 2 km-re lévő célokat látja a rendszer.



5. ábra UAV Felderítő feladat¹⁰

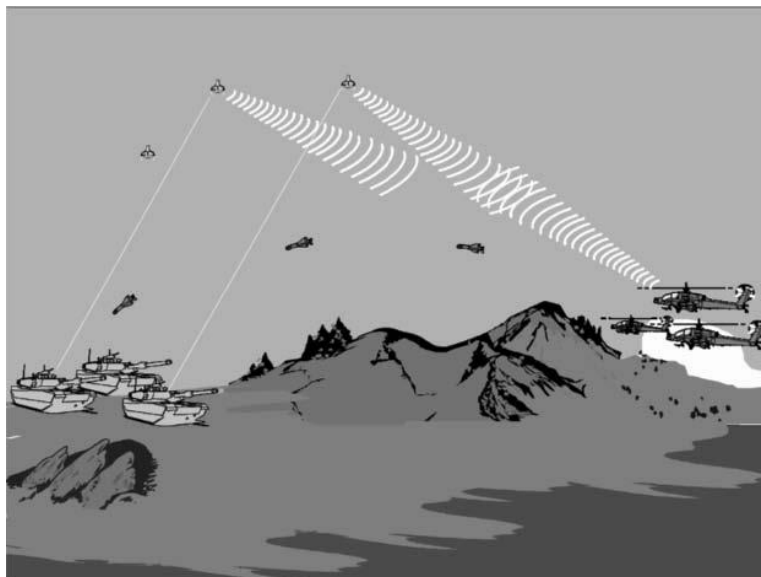
Amint az ábrán látható, a VTOL UAV azonnal lassul, és 60 m-t közeledve a célhoz, megáll, és elindul visszafelé, ha szükséges, de mindezek alatt folytatja a célkövetést és esetleg a nagyítást az optikai egységgel, ha szükséges. A fix szárnyú UAV-nek forduló manővert kell végrehajtania, és ezzel egy időben fenn kell tartani a megfigyelést is. Abban az esetben, ha nincs felszerelve forgatható, stabilizált érzékelő toronnyal, akkor szem elől téveszti a célt (célokat), annyi ideig, amíg vissza nem tér a kezdeti repülési irányára.

Ezen példa egy leegyszerűsítés, ahhoz képest, hogy a gyakorlatban a távolság, amelyet a megfigyelő lát csak a repülőtárgy alatti bazális árnyéka [1].

¹⁰ Reg AUSTIN – Unmanned Aircraft Systems, UAVS Design, Development and Deployment, Aerospace Series, Wiley Kiadó, 2010 (p. 260)

Lézeres célmegjelölés

A lézer megvilágító eszközként történő alkalmazása megvalósítható, mivel az 1–2 mrad divergencia szögű lézeres célmegjelölő lehetővé teszi a pontszerű tárgyak megvilágítását nagy távolságra. További előnye, hogy a lézeres rávezetőfejek keskeny sugárnyalábjuknak köszönhetően zavarvédettek. A félaktív lézeres rendszer a célmegjelölőből és az önrávezető fejjel ellátott robbanótöltetből áll. A felépítésének és működésének elve a következő: a célt folytonos működésű vagy impulzus üzemű lézer által kibocsátott sugárral megvilágítják. A kisugárzott impulzusok ismétlődési frekvenciája kizárja, hogy az önrávezető lézerfej a célt elveszítse. A lézeradót a stabilizáló egységgel és a kezelő optikai megfigyelő eszközével építik be, ez a célmegjelölő. A lézersugárral megvilágított célról visszaverődő sugarakat a maximális érzékenységgel működő önrávezető fej vevőegysége érzékeli, amelyben fotodiódák végzik az érzékelést. A továbbiakban az önrávezető fej koordinátora kidolgozza a vezérlőjeleket a bomba vagy rakéta irányítórendszere és kormányfelületei számára. A lézersugár folyamatos célon tartását a repülőgép személyzete végzi egy kisméretű joystick, vagy egy nagyellenállású kurzor segítségével. A célmegjelölő irányzék stabilitását tükörrel valósítják meg. A célkövetést a kezelő televíziós képernyő segítségével végzi, amelynek irányzéka egybeesik a lézer célmegjelölő sugárnyalábjának középpontjával. A célmegjelölőben egy nagyfelbontású televíziós vagy infravörös kamerát is elhelyeznek a lézerrel párhuzamosan, amelynek képét a kezelőszemélyzet (operátor) által működtetett képernyőn, és/vagy a HUD-on vetítik ki a rendszer. A földi célok „megvilágítása” többféleképpen is történhet: a bombavetést végző UAV fedélzetéről, illetve földi lézeres célmegjelölő segítségével, amelyet az előretolt földi megfigyelő kezel ([2] 7. és 8. oldalon).

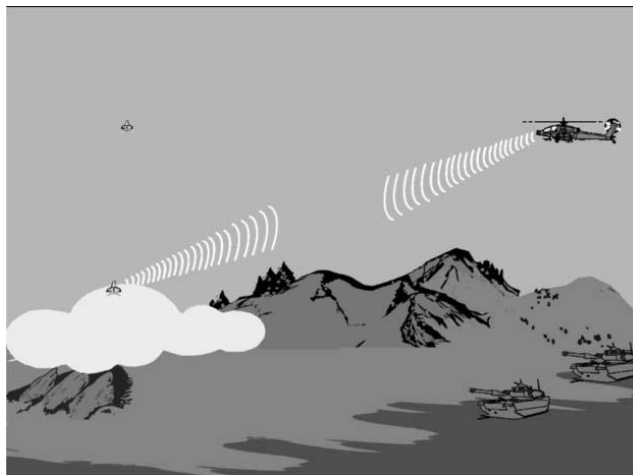


6. ábra Lézeres célmegjelölés¹¹

¹¹ Reg AUSTIN – Unmanned Aircraft Systems, UAVS Design, Development and Deployment, Aerospace Series, Wiley Kiadó, 2010 (p. 264)

ABV szennyeződés felderítése

A jövőbeli konfliktusok során, a haderő, ezen belül főleg a gyalogság, vagy a járművek, találkozhatnak a nukleáris és/vagy biológiai vagy vegyi gázokkal, anyagokkal. Ezek hatása legyen gító és általában életveszélyes. Egy hadsereg mozgásban, függetlenül attól, hogy csupán egy raj erejű járőr, vagy akár egy teljes zászlóalj hajt végre feladatot, biztosítani kell, hogy ne találják magukat szembe ezekkel a veszélyekkel.



7. ábra ABV fenyegetettség jelzése a szárazföldi csapatoknak¹²

Ezért szükséges, hogy egy rendszer előre értékelje a környezetet, még azelőtt, hogy a saját csapatok belépnének a szennyezett körzetbe, valamint adjon meg egy új, megbízható zónát, ahol folytatódhat a feladat.

Az UAV-k hasznos teherként ABV felderítő eszközöket is képesek szállítani, amellyel a tervezett mentvonalat (a szárazföldi erők beérkezése előtt) ellenőrzi és a levegő összetételét megvizsgálja. Az UAV leereszkedik a földfelszínre néhány méterre, és számos ponton mintát vesz a levegőből és továbbítja az adatokat az irányító egység felé.

Az UAV-k előnye az ABV felderítés során a következők:

- nincs személyi kockázat;
- az irányító egység részére visszaküldött adatok tartalma sokkal átfogóbb és részletesebb, mint egy gyalogos járőr kézi berendezésének;
- az UAV „mozgékonyabb” mint a földi járőr, valamint adott idő alatt, nagyobb terület vizsgálatára képes [1].

Taposóaknák felismerése és megsemmisítése

A taposóaknák elhelyezése az előrenyomuló erők állományában sok áldozattal járhat, amennyiben nem felfedezik fel és pusztítják el azokat. Továbbá, sok ezer ilyen és egyéb eszköz (pl klaszter bombák) maradtak a világ számos részén, amelyek képesek megölni az elővigyázatlan civileket, vagy katonákat. Ezen eszközöket hatástalanítani hosszú és veszélyes feladat. A pilóta nélküli rendszerek hatékony szerepkört tölthetnek be e téren.

¹² Reg AUSTIN – Unmanned Aircraft Systems, UAVS Design, Development and Deployment, Aerospace Series, Wiley Kiadó, 2010 (p. 265)

Az előzőekben már részletezett Sprite pilóta nélküli repülőgép nagy felbontású hőkamerájának köszönhetően képes az eltemetett tárgyak, valamint növényzet alá rejtett eszközök kimutatására. Az elrejtett megsemmisítő eszközök felületi hőmérséklete hajnalban és napnyugtakor eltérő mértékben változik, tehát nagyobb a termikus kisugárzása

A másik lehetőség a taposóaknak megsemmisítésére, un. irányított akusztikus robbanótöltetek alkalmazása, az optimális frekvencián. Erre a leghatékonyabb eszközök a VTOL UAV-k, amelyek a földfelszín felett biztonságos távolságban és magasságban robbantják fel a tölteteket. Ezek az eszközök mind a katonai erők fegyvertárában, mind pedig a civil szervezetek alkalmazásában megoldást jelenthetnek világszerte [1].

A rendszerek mobilitása

Mint már említettem, a pilóta nélküli rendszerek gyors reagálása szükséges követelmény, különösen a közelharc UAV-k terén. Legyen szó akár az azonnali mobilitásról a csatatéren, vagy a könnyebb szállításról (8. ábra).



8. ábra A Phoenix rendszer: 5 jármű, 11 személlyel¹³

Városi felügyelet

Ez egy nagyon fontos, ám még nem teljesen kiforrott szerepköre a pilóta nélküli rendszereknek. A feladat ebben az esetben az, hogy különböző megfigyeléseket végezzenek az UAV-kal városi környezetben, épületek, toronyházak között javítás és egyéb megoldandó feladatok céljából. A legmegfelelőbbek erre a célra a MAV vagy a NAV pilóta nélküli repülőgépek, amelyek hosszú élettartammal rendelkeznek.

A követelmények:

- az UAV-nek kevésbé feltűnőnek kell lennie, ellenkező esetben könnyen megsemmisíthetik;
- viharos, szeles időjárási körülmények között is navigálhatónak kell maradnia;
- fenn kell tartani a folyamatos adatkapcsolatot az UAV és az ellenőrző állomás között.

Összességében, mielőtt egy ilyen jellegű feladatot vállalnak UAV-vel, megoldást kell találni az fentebb említett problémás területekre [1].

¹³ Army-Technology, The Phoenix Unit on Salisbury Plain, England, Phoenix Troop kép. Url: <http://www.army-technology.com/projects/phoenixuav/phoenixuav1.html> (2013.03.30)



LÉGIERŐ SZEREPKÖR

Nagy hatótávolságú felderítés és csapásmérés

Valószínűleg, a legtöbb eddigi jelentés alapján, a közepes- és nagy magasságban végrehajtott, nagy hatótávolságú, hosszú időtartamú pilóta nélküli rendszerek (mint pl. a Predator sorozat és a Global Hawk) játszották a legnagyobb szerepet a légierőben, amelyekről az előző fejezetben már szót ejtettem.

Ezek a rendszerek legfeljebb 30 000 m-es magasságban 5000 km-es hatósugarú körben akár 30 órát képesek a levegőben maradni anélkül, hogy leszállnának. Nagy felbontású elektro-optikai érzékelőkkel forgatható toronnyal és szintetikus apertúrájú radarral vannak felszerelve. Üzemeltetésük bázisokról (repülőterekről) történik, az adatkapcsolat pedig műholdakon keresztül valósul meg velük.

Kezdetben a rendszerek korlátozott felderítő küldetések végrehajtására voltak alkalmasak. Ugyanakkor a katonai műveletek végrehajtásakor, az Egyesült Államok Légierője, a távolabbi területek, Irakban és Afganisztánban, megállapította, hogy a felderítést követően a légi vagy szárazföldi erők a célok megsemmisítését nagy késedelemmel tudta csak megkezdeni. Ez a felismerés vezetett a korszerű csapásmérő fegyverek pilóta nélküli repülőgépeken történő alkalmazásához, mint pl. a Predator, majd az un. Reaper. Ez most lehetővé teszi, az azonnali csapásmérést. Számos más légi erők megvásárolt a pilóta Nélküli rendszerek ezen osztályát [1].

Fedélzeti korai figyelmeztető rendszer

Széles terület átvizsgálásakor, elsősorban radarral, az ellenséges mozgások korai jeleit elemzik. Erre a feladatra hosszú élettartamú merevszárnyú pilóta nélküli rendszerek alkalmasak.

Elektronikai felderítés

Az elektronikai felderítés magában foglalja rádiófelderítést (COMINT¹⁴) és a jelfelderítést (SIGINT¹⁵). Az előbbinek a feladata, az ellenség rádió-távközlési (kommunikációs) adásainak lehallgatása, annak érdekében, hogy információt nyerjünk szándékaikról. Az utóbbinak a feladata az, hogy lehallgassa és rögzítse a szembenálló fél elektronikus eszközei által kibocsájtott információkat (légvédelmi radarok, légvédelmi rakéták, rádió- és rádiónavigációs berendezések), adatokat. Ezek birtokában, ha szükséges lehetséges a szemben álló erők elektronikus eszközeinek zavarása.

A légijármű fel van szerelve antennák sokaságával és azokat működtetni kell hosszú időn keresztül, ellenséges területen. Éppen ezért veszélyes feladat, valamint unalmas és fárasztó munka a repülőszemélyzet számára.

A 9. ábrán az IAI Heron közepes magasságú, hosszú élettartamú pilóta nélküli repülőgép látható, felszerelt SIGINT antennákkal [1].

¹⁴ COMINT – Rádiófelderítés

¹⁵ SIGINT – Signal Intelligence - Jelfelderítés



9. ábra IAI Heron SIGINT antennákkal¹⁶

Besugárzásjelző légvédelmi elhárító rendszer

Számos pilóta nélküli repülőgépet, többek között rajokat, lehet kiküldeni egy hagyományos (pilóták által végrehajtott) csapásmérés előtt, hogy magára vonzza a légvédelmi rendszerek figyelmét azért, hogy a valódi csapásméréseket elfedje. Ha az UAV felfegyverzett (UCAV) eszköz, akkor a légvédelmi rendszerek megtámadhatják semlegesítése érdekében, ezzel eltávolítva a veszélyforrást.

Különböző típusú felfegyverzett pilóta nélküli légi járműveket terveznek. Egyik fő feladatuk, hogy rejtettek maradjanak. Néhányan közülük kisebb közép-hatótávolságú repülőgépek és néhányan nagyobb, nagy hatótávolságú repülőgépek, mint például a 10. ábrán látható Northrop-Grumman X-47B és a 11. ábrán látható BAE Systems Taranis. A légi járművek ezen osztálya még fejlesztés alatt áll. Hajtóművük lehetővé teszi a szubszónikus sebességtartományban történő műveletek végrehajtására is. Az UCAV-ok hosszú élettartammal rendelkeznek majd, valamint képes lesz belsőleg (a repülőgéptesten belül) szállított fegyverekkel támadni a célokat. A sárkányszerkezetnek nagy felületi terhelést kell kibírnia.



10. ábra. A Northrop-Grumman X-47B UCAV¹⁷



11. ábra. BAE System Taranis UCAV¹⁸

¹⁶ Heron MALE System. Defense Update – International, Online Defense Magazine kép. Url: <http://defense-update.com/products/h/Heron-UAV.htm> (2013.04.02)

¹⁷ Navy Secrets – The Flying Triangles Northrop-Grumman X-47B kép. Url: http://www.thelivingmoon.com/45jack_files/03files/Black_Aircraft_Navy_Triangles.html (2013.04.10)

¹⁸ Taranis Unmanned Combat Air Vehicle (UCAV) Demonstrator United Kingdom, BAE System Taranis kép. Url: http://www.thelivingmoon.com/45jack_files/03files/Black_Aircraft_TANARIS_001.html (2013.04.11)

Elfogás

A jövőbeni UCAV-ok is képesek lesznek elfogás végrehajtására személyzettel ellátott, vagy pilóta nélküli légi járművekkel szemben. Megfelelő légi manőverek végrehajtására lesznek alkalmasak, könnyebbek lesznek, mint a normál (pilóta vezette) társaik, valamint nem korlátozódik gyorsulásuk és fordulékonyáguk az emberi személyzet élettani határaitra [1].

Repülőtéri biztonság

A repülőtereket két módon lehet támadni. Az egyik a levegőből történő támadás, a másik pedig a földi támadás.

Támadás a levegőből

Amennyiben egy légi támadás során az ellenség által alkalmazott levegő-föld fegyverek kárt okoznak a repülőtérben, beleértve a futópályát, az épületeket, szükséges, hogy gyors mértékben meghatározzák a károkat, a fel- és leszálláshoz, a guruló utakhoz való hozzáférést, annak érdekében, hogy a repülőtér visszanyerje működőképességét. Lehetséges azonban, hogy a javítások elvégzésére nincs lehetőség. Ekkor meg kell határozni egy területet javításra, amely leginkább lehetővé teszi a leghamarabbi működőképesség visszaállítását [1].

A követelmény az, hogy két szakaszban végezzék a károk felmérését:

- azonnali átfogó képet kell adni a repülőtérrel, hogy kiértékeljék a károkat, valamint az optimális utak javítását;
- egy alacsony magasságon elvégzett felmérést, hogy megtalálják bármelyik ösvényben a fel nem robbant bombát (bombákat), amelyek nagymértékben késleltetnék és veszélyeztetnék a javítási munkákat.

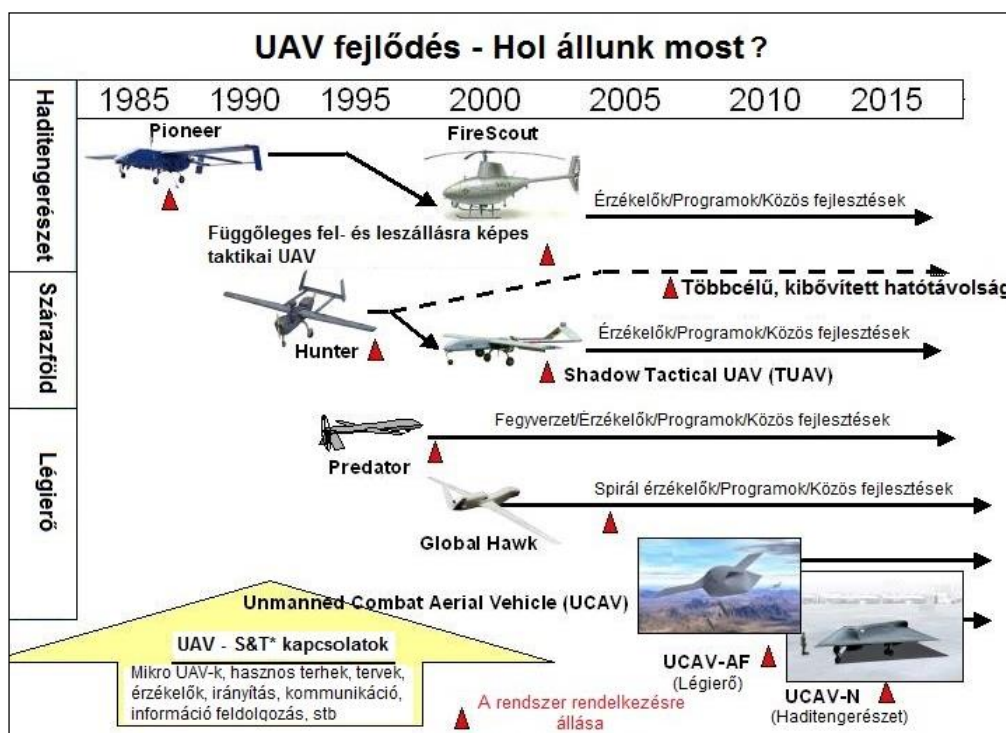
Ezeket a feladatokat a legjobban az UAV-k függesztményeként felszerelt nagy felbontású elektro-optikai, valamint infravörös érzékelők hajtják végre. Az UAV-t és az irányító állomást egy bombabiztos helyen nyer elhelyezést a föld alatt. A feladat során a repülőgép továbbítja a képeket a repülőtérrel egy (az irányító állomáson elhelyezett) központi képernyőre, valamint azoknak az utaknak a képeit, ahol a bombamentesítést el kell végezni.

Az ilyen műveletekre a legjobban a függőleges fel- és leszállásra alkalmas pilóta nélküli légi járművek a legmegfelelőbbek, mivel könnyű a szállításuk és indításuk, valamint alacsony magasságban, akár egy ponton függve el tudják végezni a kívánt feladatot. Továbbá egy ilyen kis UAV arra is használható, hogy megsemmisítse a személy elleni fegyvereket, amely egyébként megakadályozná a javítási tevékenységet [1].

Földi célok támadása

Ellenséges erők tevékenysége során egy azonnali fegyveres támadás kivédése magas szintű biztonsági intézkedések fenntartását követeli meg. Ezekre a feladatokra az UCAV repülőeszközök nagy hatékonysággal alkalmazhatók, figyelembe véve gyors készenlétüket, precíziós megsemmisítési lehetőségeiket, nehéz felderíthetőségüket. A legfontosabb tényező, amely ilyen jellegű feladatok végrehajtásában előnyére van, az, hogy nincs pilóta a fedélzeten.

Összegzőként a 12. ábrán a pilóta nélküli repülőgéprendszerek, haditengerészeti, szárazföldi, valamint légiere szerepkörökben elért fejlődésüket és a jövőbeli fejlesztési lehetőségeket.



12. ábra UAV fejlődés¹⁹

KÖVETKEZTETÉSEK, TAPASZTALATOK

Amennyiben el is fogadjuk azt a tényt, hogy a leglátványosabb előrelépést az irányítható rakéták rutinszerű alkalmazása jelenti, ennél talán még fontosabb a kommunikációs fejlődés. A cél ma már egyértelműen az, hogy a pilóta nélküli felderítőgépek által begyűjtött információk, jelek, fényképek minél szélesebb körben legyenek elérhetőek, lehetőleg valós vagy közel valós időben. Ehhez azonban szintén a rendszerszemlélet nyújt segítő kezdet. Az elv egyszerűen hangzik: a kicsiny repülőgéppel beszerzett adatok azonnal jussanak el minden olyan egységhez, parancsnoksághoz, haditechnikai eszközhöz (legyen szó akár egy járőröző F-15E Strike Eagle fegyveroperátori képernyőjére), ahol ezt az információt hasznosítani tudják. Ehhez azonban már kevés, ha a repülőgép csupán az irányító központtal vagy a csapatoknál lévő, kisebb eszközök esetén a kezelővel van kapcsolatban. Ahhoz, hogy az adatot akár több parancsnoki szinten is fogadják és feldolgozzák, elengedhetetlen a szabványosított adatátviteli protokollok alkalmazása, főleg ha az egyes, eltérő rendszereket is alkalmazó fegyvernemek közötti együttműködésről és információ megosztásról beszélünk [3].

Ahhoz, hogy az adatokat érdemes legyen fogadni, megfelelő érzékelőket kell telepíteni a repülőgépekre. Az elméleti kutatásokat a hadműveleti tapasztalatokkal ötvözve ezen a területen is

¹⁹ FAS Intelligence Resource Program - Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) – Unmanned Aerial Systems (UASs) kép. Url: <https://www.fas.org/irp/program/collect/uav.htm> (2013.04.12)



ugrásszerű fejlődésnek lehetünk szemtanúi. Folyamatos a már meglévő eszközök és az új, különböző hullámhosszon dolgozó optikai, infravörös és radarrendszerek fejlesztése. Az elsődleges cél annak elérése, hogy bármilyen időjárási viszonyok közepette éjjel-nappal a lehető legpontosabb képet közvetítsék a megfigyelt területről. *"Egyre inkább nyilvánvalóvá válik azonban, hogy egy célpont egy érzékelővel történő megfigyelése nem képes kielégíteni a harcoló csapatok igényeit"* – tette hozzá Dyke Weatherington, az amerikai védelmi miniszter UAS-programokért felelős irodájának vezető helyettese. A különböző rendszerek eltérő felderítőeszközeinek jeleit egyesíteni kell, hogy minden "érintett fél", azaz minden érdekelt egység, fegyverrendszer megkapja a megfelelő információkat [3].

A légvédelem sem Afganisztánban, sem Irakban nem okozott komoly gondot a szövetséges haderőknek. Igaz, számos – több esetben igen nagy véráldozatot követelő – lelövésel is "büszkélkedhetnek" a terroristák, de a repülések és a napi bevetések számához képest elenyészőek a veszteségek. A veszteséglistára sok pilóta nélküli repülőgép is felkerült, amelyek egy részét lelőtték, más részük műszaki hiba vagy emberi mulasztás miatt zuhant le. A szakértők véleménye szerint az aszimmetrikus hadviselés esetén sem zárható ki a légvédelem megerősödése, így főleg az alacsony és esetenként a közepes magasságban repülő UAV-k túlélőképességét kell majd továbbfejleszteni [4].

A legjobb megoldás az, ha az eszközt nem vagy csak igen nehezen lehet észlelni: ehhez nyújt segítséget az álcázás és a magasan repülő gépek (például az RQ-4B Global Hawk) esetén a sárkányszerkezet alacsony visszaverő képességű kialakítása, illetve a radarelnyelő anyagok alkalmazása [5].

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Reg AUSTIN – Unmanned Aircraft Systems, UAVS Design, Development and Deployment, Aerospace Series, Wiley Kiadó, 2010 (pp. 45-64)
- [2] CSATLÓS Péter – A rakéták passzív infravörös önirányítása. , Repüléstudományi Közlemények,
- [3] Repüléstudományi Konferencia 2006, „Új évszázad, új technológia, Gripenek a magyar légierőben”. Url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/csatlos_peter.pdf (2013.03.29)
- [4] http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/repulok/hunsofar_070109/, Pilóta nélküli robotrepülőgépeket vásárolt a Magyar Honvédség (2013.03.30)
- [5] Embertelen őrszemek, url: http://www.jetfly.hu/rovatok/repules/katonai/tipusok/aranysas_060702/ (2013.04.02)
- [6] GÁCSER Zoltán – A mini és a mikro pilóta nélküli repülőgépek, Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia 2003, „100 éves a repülés”. Url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2003_cikkek/gacser_zoltan.pdf (2012.12.29)

Kiss Dóra¹ – Dudás Levente² – Szüllő Ádám³ – Seller Rudolf⁴

SSR ALAPÚ MONOPULSE KÖVETŐ RENDSZER⁵

Az SSR rendszer segítségével a transzponderrel felszerelt utasszállító repülőgépek adatairól kapunk információt. A monopulse pedig egy olyan vételi antennanyalábformálási eljárás, amely különbségi- és összegcsatornák kialakításával a céltárgy pontosabb detektálására szolgál. A cél egy olyan SSR technológián alapuló monopulse rendszer fejlesztése, ami forgatóra helyezve az antennamátrixot egy megfelelő szabályzórendszer segítségével pontosan a céltárgy irányába forgatja. Ehhez meg kell tervezni továbbá egy SSR radarjel vételére alkalmas áramkört, ami a jelfeldolgozásra alkalmas. A fejlesztés során egy prototípus készül el, aminek hatékonysága terepi mérésekkel is igazolva lesz.

SSR BASED MONOPULSE TRACKING SYSTEM

Secondary surveillance radar systems are predominantly used in civil air navigation. Mode A/C/S transponders – situated on the aircraft- send information to the interrogator. This represents a duplex communication, using different up- and downlink frequencies. Monopulse is a special beam-forming method, which allows us to detect the track incomprehensibly more precise than the conventional technologies. Having these technological backgrounds the aim is to develop a tracking system that detects the tracks and rotates the antenna-matrix exactly to the aircraft's direction. This project requires antenna and high frequency signal processing design, simulation and production. Next step is to design the hardware and software of the signal-processing PCB, and the control system of the rotator. The final step of production is to test the system under proper circumstances.

BEVEZETÉS

A követő rendszer ismertetése

A tervezett követő rendszer a szekunder radarok elvét és monopulse nyalábformálási technológiát alkalmazva lehetővé teszi a levegőben lévő, transzponderrel rendelkező céltárgyak pontos detektálását, ezen kívül egy forgató és az azt irányító szabályzórendszer segítségével az antennamátrixot pontosan a repülőgép irányába fordítja. A követő előnyei közé tartozik továbbá, hogy méretéből fakadóan könnyen hordozható és antennájának gyártása a sík geometriának köszönhetően viszonylag egyszerű.

Ehhez először is tervezni, szimulálni és gyártani kell egy négyelemű antennamátrixból álló patch-antenna rendszert, háromcsatornás kimenettel. A két különbségi és az egy összeg csatornát egy négy darab microstrip kvadratúra hibridből álló rendszer valósítja meg, majd szűrés után egy megfelelő RF IC segítségével 4 MHz-es középfrekvenciára keverve a jel A/D átalakításon megy keresztül, végül egy digitális jelfeldolgozó egységgel, FPGA-val kerül feldolgozásra. A nyomtatott áramkör főbb elemeinek blokkdiagramját mutatja az 0. ábra.

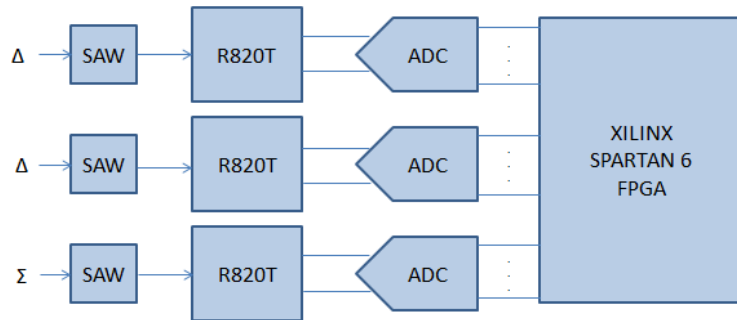
1 MSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, dkisshun@gmail.com

2 tanársegéd, dudas@mht.bme.hu

3 doktorandusz hallgató, szullo@mht.bme.hu

4 egyetemi adjunktus, seller@mht.bme.hu

5 Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre, egyetemi tanár, NKE Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com



1. ábra Monopulse követő rendszer legfontosabb elemeit mutató egyszerűsített blokkdiagram

Az antennarendszert illetően a választás azért esett a microstrip patch kivitelezésére, mert sík geometriájából fakadóan gyártása viszonylag könnyű és olcsó, ezen kívül előny még a könnyen szállíthatóság és az időjárással szembeni állóképesség. A fejlesztés első lépéseként a megfelelő, 1090 MHz downlink frekvencia vételére alkalmas méretű antennát kell szimulálni, gyártani, majd hálózat analízátor segítségével bemérni. Ugyanígy elv és metódus alapján készültek a nagyfrekvenciás jelfeldolgozásra alkalmas hibridek.

ELMÉLETI HÁTTÉR

SSR mérési elv

Az SSR⁶ kétirányú kommunikációt valósít meg az interrogátor és a transzponder között. A második világháború idején került kifejlesztésre, hogy a közeledő gépről egyértelműen el lehessen dönteni, hogy „barát, vagy ellenség”. Működésének hatékonyságát az adja, hogy az interrogátor 1030 MHz-es uplink frekvenciája nem esik egybe a kooperáló transzponder 1090 MHz-es downlink frekvenciájával [1]. A két eltérő adó frekvencia miatt a csatornák közt nem alakul ki áthallás. Valamint a primerekkel szemben a terjedési veszteség R távolságú céltárgy esetén nem R^4 -el, hanem R^2 -el arányos.

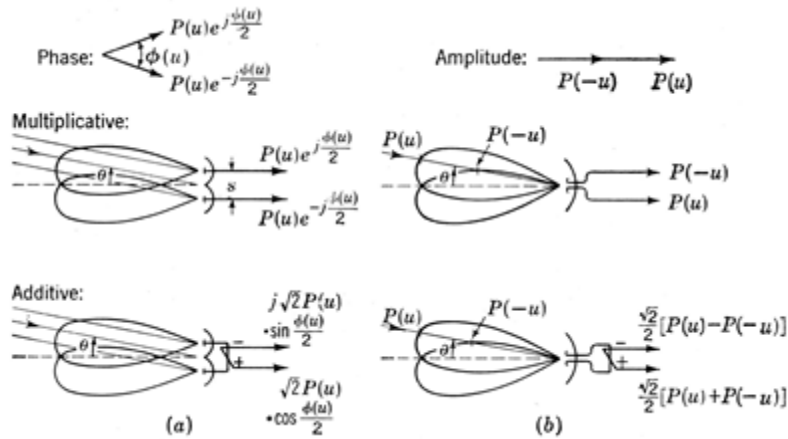
SSR esetén a primerrel szemben a beérkező jel nem függ a céltárgy méretétől és alakjától. Van azonban egy minimum bemenő jelszint, amire válaszol és egy minimum válasz jelszint, az ERP⁷. Ez az ERP az antenna kimenő teljesítmény és a nyereség szorzata. ICAO specifikáció alapján ez az ERP 52,5 dBW, ami ~200 Nm-re korlátozza a transzponder hatótávolságát.

Monopulse mérési elv

A monopulse rendszer több szimultán fedésben lévő vételi antennanyaláb kialakítását jelenti. Minden céltárgy, ami a nyalábokba ér több vevő által detektálásra kerül, majd amplitúdó – és fázisösszevetés történik. Ez teszi lehetővé a céltárgy szögparamétereinek, radiális sebességének és távolságának a konvencionálishoz képesti pontosabb meghatározását [2]. Nevéhez híven egy impulzus elegendő tehát az azimuth szög meghatározásához.

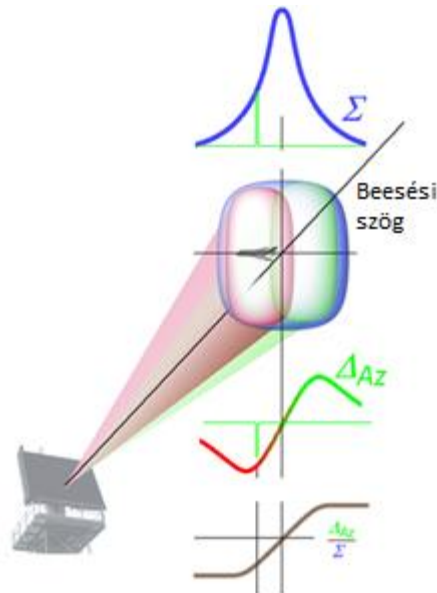
6 Secondary Surveillance Radar – Szekunder radar

7 Effective Radiated Power – Lesugárzott effektív teljesítmény



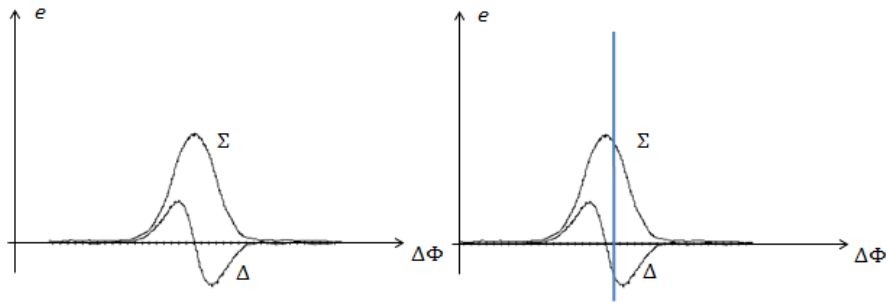
2. ábra Monopulse fázis és amplitúdóösszevetés valamint az egymást szimultán fedő nyalábok illusztrálása

Az antennából jövő jelből Σ összeg és Δ különbségi csatornák állíthatók elő. A fázisstabilitás érdekében pedig ezek az összegző és kivonó áramkörök RF-en vannak megvalósítva.



3. ábra Céltárgy beérkezése a különböző színekkel jelölt nyalábokba, valamint a Σ és Δ jelek ábrázolása.

A Σ csatornán belüli pontosabb szögmeghatározást a Δ csatorna teszi lehetővé. Ha ábrázoljuk a két csatornát a $\Delta\Phi$ függvényében (ahol $\Delta\Phi$ a főirányhoz képesti azimuth vagy elevációs szögeltérés), láthatjuk, hogy a Δ gyorsabban változik. Ez a meredekség függ az antennanyalábok fedettségétől, így kialakításuknál ezt figyelembe kell venni. A 3. ábrán az ábrázolt e egy hibajel, amit a jelfeldolgozás első elemeként a PSD (fázisérzékeny detektor) állít elő és ez az e a Σ csatornához képesti azimuth szögeltéréssel lesz arányos.



4. ábra A szumma és delta jelek valamint a céltárgyról beérkező jel ábrázolása

$$e = \frac{\Delta}{|\Sigma|} \cos\vartheta \quad (1)$$

- E a PSD kimenetén megjelenő hibajel
- Δ az eleváció vagy azimuth Δ csatorna jele
- $|\Sigma|$ az összeg csatorna normalizált jele
- ϑ a Δ és Σ jelek fáziskülönbsége

MISCROSTRIP PATCH ANTENNAMÁTRIX

A microstrip antenna egy dielektrikumon kialakított vezető anyagból készült sugárzó. Használatuk ma már széles körben elterjedt, mivel gyártásuk költséghatékony és a síkbeli kialakítás miatt viszonylag egyszerű. Ezek azonban általában keskenysávú antennák, hatékonyságuk pedig függ a dielektromos veszteségtől [3].

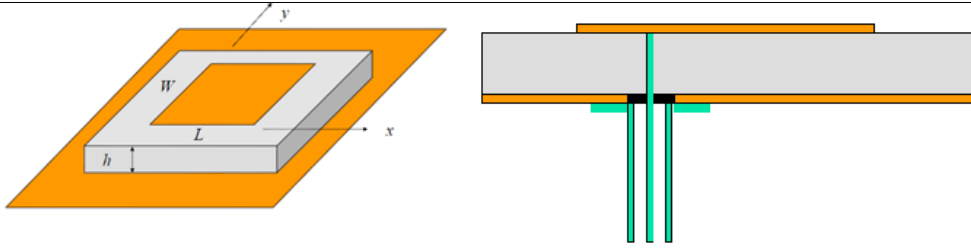
Az üregrezonátor elvén működnek, mivel alul-felül rövidzárral, oldalán pedig szakadással modellezhetők. qTEM, azaz kvázi-transzvezális elektromágneses hullám lesz a kialakuló domináns terjedési módus, mivel levegőben és a dielektrikumban egyaránt terjed. Ehhez tartozik egy ún. effektív dielektromos állandó, aminek az értéke kissé elmarad az eredeti ϵ_r -tól és a (2) képlettel számítható.

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1} \quad (2)$$

Geometria

A működési frekvenciát megadó paraméterek:

- *hossz (L);*
- *szélesség (W);*
- *dielektrikum magassága (h);*
- *dielektromos állandó (ϵ_r);*
- *Patch magasság (t).*



5. ábra Microstrip patch működési frekvenciáját megadó paramétereit és oldalnézete koaxiális kábel betáplálás esetén

A patch hossza jellemzően kisebb, mint $\lambda/2$ mivel a megfelelő TM_{10} kialakulásának ez a feltétele. Az elektromos térerősség fázishelyes tangencionális komponensei hozzák létre a felületre merőleges sugárzott teret. Az így kialakult tér mindkét irányban ΔL hosszal megnöveli a hatós hosszát, amit a (3) képlettel számolhatunk [4].

$$\Delta L = L + 2\Delta L \quad (3)$$

A patch W paramétereit pedig az alábbi egyenlettel kapjuk

$$W = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (4)$$

A fent említett paraméterek fennmaradó részét pedig az FR4-es nyáklemez tulajdonságai adják, mivel abból kerül gyártásra az antenna, maratással.

- $h = 1,6 \text{ mm}$
- $\epsilon_r = 4,3$
- $t = 35 \mu\text{m}$

Betáplálás

A betáplálás kétféleképpen történhet: microstrip vonal hozzávezetéssel vagy az 4. ábra jobb oldalán látható módon, koaxiális kábel hozzávezetéssel. Ez utóbbi esetben a kábel belső vezetője alulról átmegy a szigetelőn és felülről van csatlakoztatva a sugárzóhoz. Az antennamátrix esetében az utóbbi, koaxiális kábel betáplálás kerül megvalósításra.

A betáplálás geometriai helye fogja meghatározni a négyzetes patch antenna polarizációját. Ahhoz, hogy cirkuláris polarizációt kapjunk, az antennát a főátló egy pontján kell betáplálni. Így a TM_{10} és TM_{01} módusok is létrejöhetnek egy adott frekvencián, 90° -os fáziskülönbséggel [6]. Mivel a módusok ortogonálisak, ezek egymástól függetlenül sugároznak és távolterben összeadódnak, létrehozva ezzel a cirkuláris polarizációt.

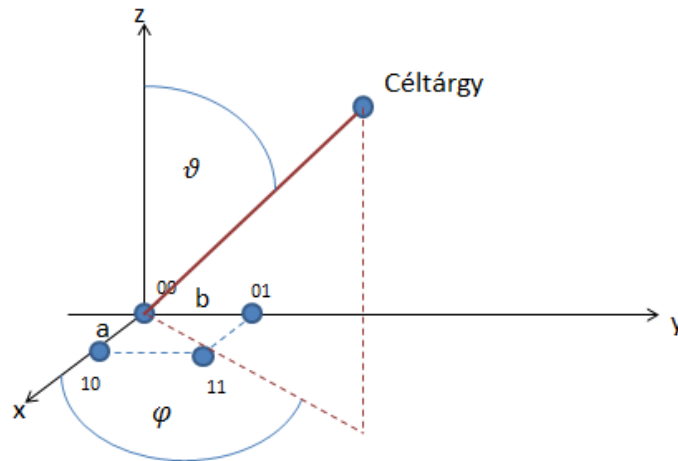
Szimuláció

A tervezett antennamátrix tehát négyzetes, cirkulárisan polarizált microstrip patch antennából áll, amelynek szimulálása egyrészt LabView, másrészt az Ansoft HFSS (High Frequency Structural Simulation) programokkal történt.

Antennamátrix elrendezése

A patchek mérete (W, L paraméterek) $\lambda/4$ -el közelíthető, a középpontjaik hullámhosszban mért távolsága pedig pontosan $\lambda/2$.

A patchek x-y síkon való elrendezését, a beeső céltárgy szögét és a síkra való merőleges vetületét mutatja a 6. ábra.



6. ábra Beeső céltárgy x-y síkhoz képesti szöge és merőleges vetülete

φ és ϑ függvényében pedig leírható az iránykarakterisztika az alábbi egyenletekkel.

$$F(\vartheta) = \sum_{k=0}^{N-1} I_k e^{-jk\beta \sin\vartheta} \quad (5)$$

ahol

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (6)$$

$$F(\vartheta, \varphi) = \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} I_{kl} e^{-jk\beta \sin\vartheta} \quad (7)$$

$$\Delta\phi = \beta(k a \sin\vartheta \cos\varphi + l b \sin\vartheta \sin\varphi) \quad (8)$$

$$F(\vartheta, \varphi) = \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} I_{kl} e^{-j\Delta\phi} \quad (9)$$

a és b hullámhosszban mért távolságot változtatható paraméternek tekintve készíthető egy 3D LabView szimuláció a karakterisztikára csatornánként, így meghatározható az optimális távolság a patchek középpontjai között.

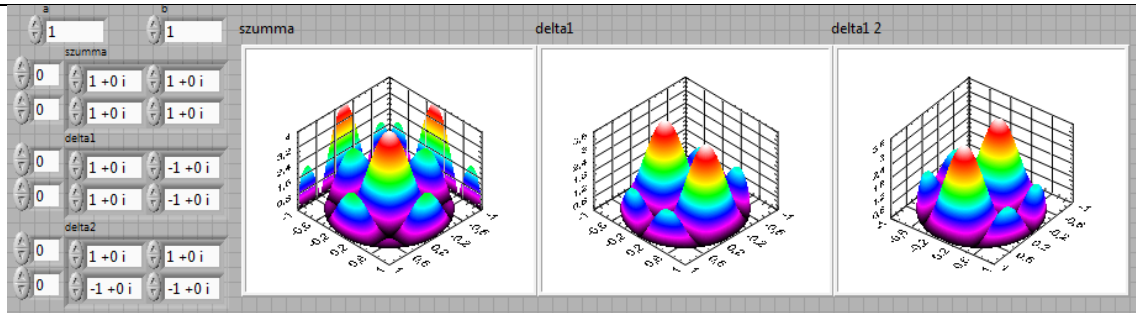
A monopulse-ra jellemző különbségi – és összeg csatornák mátrixelrendezésben is felíthatók.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

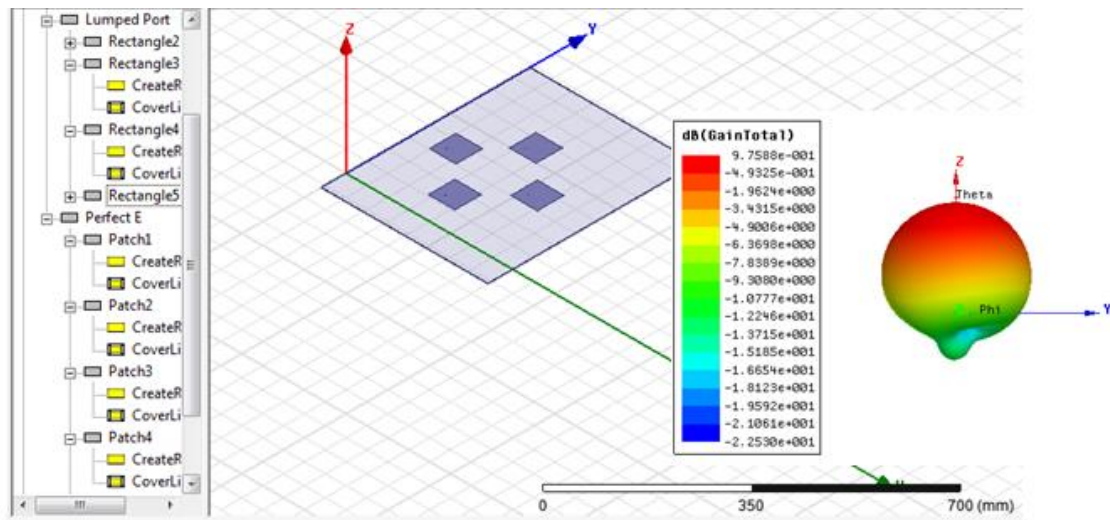
$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

A 3D iránykarakterisztika ($a, b = \lambda/2$ esetén ideális eredményt hozott.



7. ábra LabView szimuláció alapján a Szumma – és delta jelek karakterisztikája

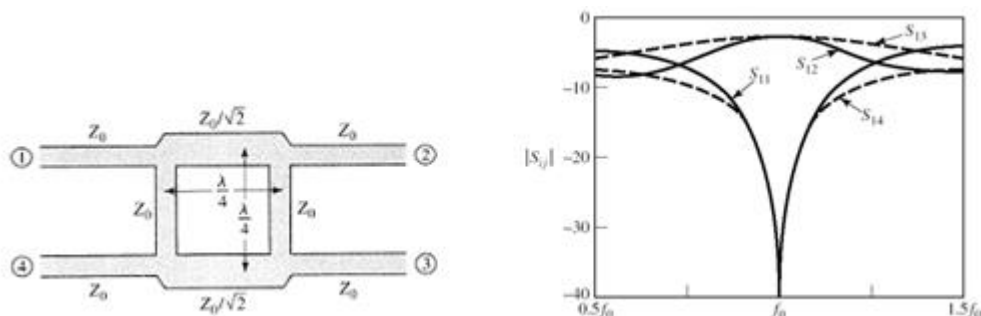
Ezek alapján elkészíthető az antennamátrix HFSS szimulációja, hiszen megvan már a patchek mérete, elrendezése és középpontjaik távolsága.



8. ábra Antennamátrix HFSS szimulációja valamint a nyereségre kapott érték, amely alapján a gyártás indolokt

KVADRATÚRA MICROSTRIP HYBRID RENDSZER

Az RF jelfeldolgozás, vagyis a Δ és Σ jelek kialakítására microstrip hybrid rendszer tervezésére és kivitelezésére esett a választás. Több fajta létezik, a Wilkonson, a 180° -os és a 90° -os hybrid [5]. Közülük a kvadrátúra (90°) hybridek 4 portos elemek, amelyek 3 dB-es teljesítményszétárasra és összegzésre képesek.



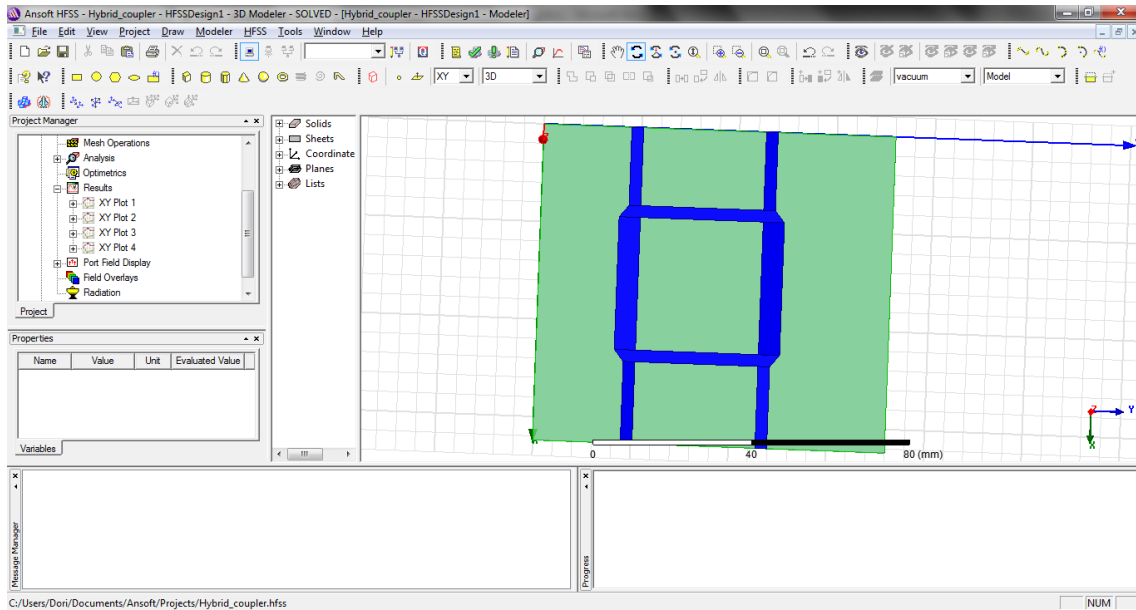
9. ábra Kvadrátúra microstrip hybrid és ideális S-paraméterei

Az ábra bal oldalán látható a választott hybrid vázlat, paramétereit pedig az alábbi egyenletekkel írhatók fel.

$$f_0 = 1090 \text{ MHz}; \quad Z_0 = 50 \Omega; \quad \frac{Z_0}{\sqrt{2}} = 35 \Omega; \quad W_{Z_0} = 3,000 \text{ mm}; \quad L_{Z_0} = 37,95 \text{ mm};$$

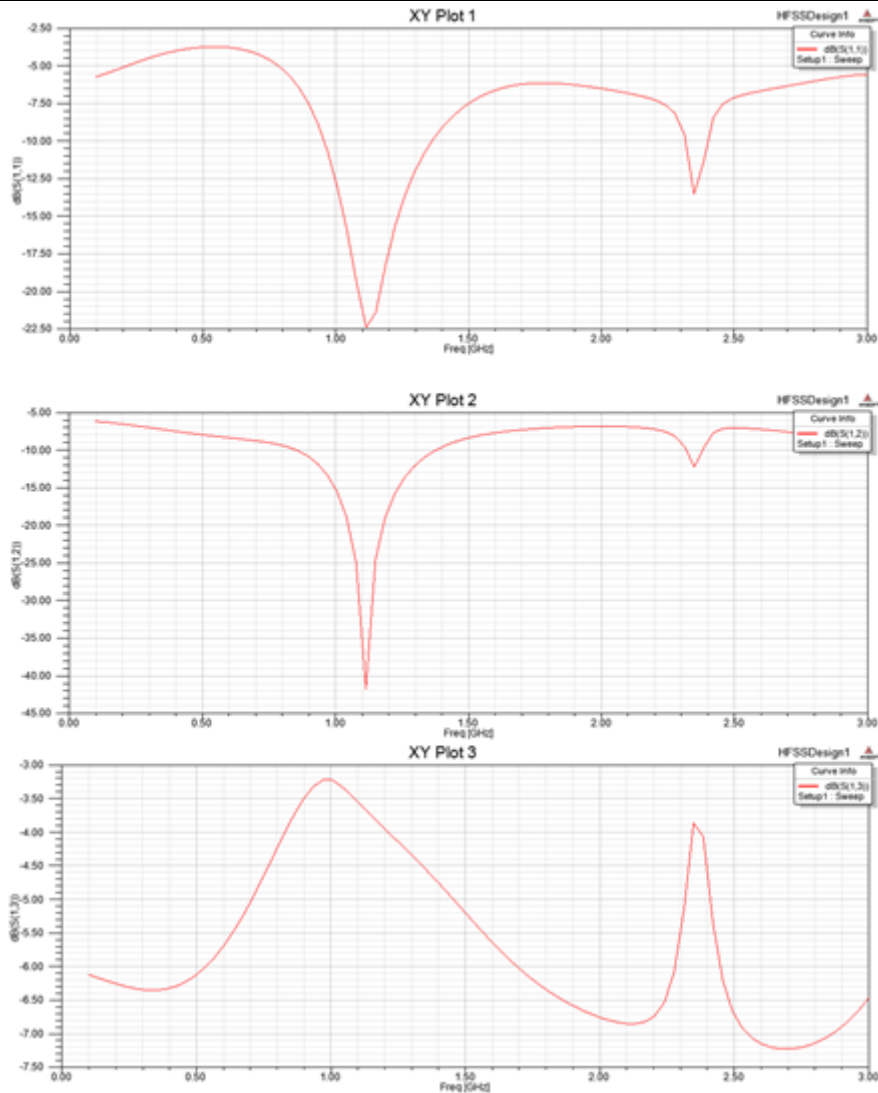
$$W_{Z_0/\sqrt{2}} = 5,199 \text{ mm}; \quad L_{Z_0/\sqrt{2}} = 36,98 \text{ mm}$$

A méretek meghatározása után Ansoft HFSS-ben lett szimulálva, majd az eredmény összevetésre került a 9. ábra jobb oldalán található ideális S-paraméter görbékkel.



10. ábra FSS-ben szimulált kvadrátúra hybrid rendszer egy eleme

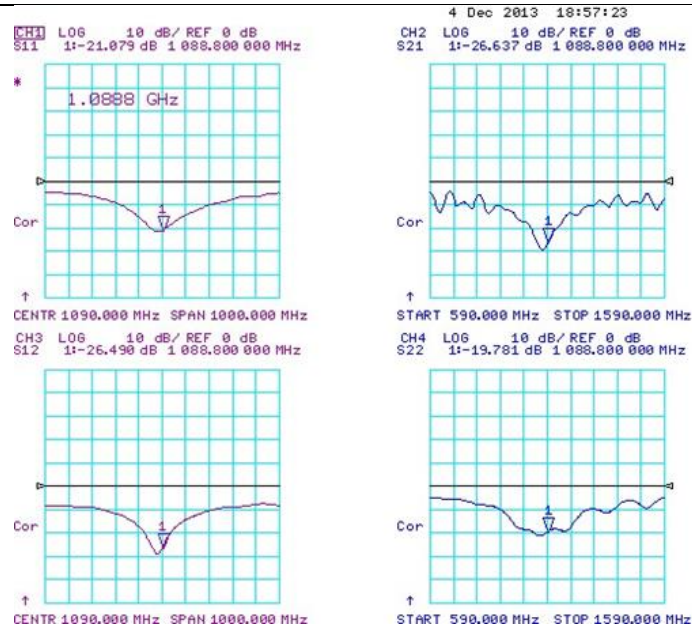
A hordozó a patch-hez hasonlóan $\epsilon_r = 4,3$ dielektromos állandóval rendelkező FR4-es lemez.



11. ábra HFSS-ben szimulált S-paraméterek. A kívánt frekvencián, azaz 1090 MHz-en megfelelő reflexiót mutatnak, valamint az (utolsó) S_{13} paraméter is közelíti az ideális, -3 dB-es határt.

A szimulált eredmények jól közelítik az ideális görbéket, így a hybrid gyártásra került az adott paraméterekkel, FR4-es nyáklemezből, maratással. A dielektrikum magassága 1,6 mm, a vezető rétegé változatlanul 35 mikron.

Gyártás után vektor hálózat analizátor segítségével bemérésre került a hibrid portonként, a megfelelő lezárások alkalmazásával. A mérések a várt eredményt hozták és a szimulált eredményeket közelítették, ahogy azt a 13. ábra mutatja.



12. ábra A hybrid egy portja S-paramétereinek vektor hálózat analizátorral mért értéke, center frekvenciában a kívánt 1090 MHz-el. Az S_{11} és S_{22} paraméterek rendre -21 dB és -19 dB értéket mutatnak. Az S_{21} és S_{12} pedig -26 dB.

ÖSSZEGLÉZÉS

Összeállt tehát a vételre alkalmas antennarendszer és annak a háromcsatornás kimenete, így következő lépés a nyomtatott áramkör logikai – és huzalozott tervének elkészítése. Ehhez az alkatrészek már kiválasztásra kerültek, a nyomtatott áramkör pedig a huzalozás szakaszában van. Az áramkör logikai rajza (schematic) tartalmazza az 0. ábrán mutatott elemeket valamint a megfelelő csatlakozókat a forgatórendszer kialakításához. Végző lépés lesz a forgató szabályzó rendszerének megtervezése, majd terepi mérésekkel lesz igazolva a rendszer működése.

- [1] FELHASZNÁLT IRODALOM
- [2] COLE Understanding radar Blackwell Publishing 2nd edition, 1993
- [3] KINGSLEY: Understanding Radar Systems, SciTech Publishing 1st edition, 1999
- [4] BANCROFT Microstrip And Printed Antenna Design, TBS, 2004
- [5] A.B. MUTIARA: Design of Microstrip Antenna for Wireless Communication at 2.4 GHz, Journal of Theoretical and Applied Information Technology Vol33 No2 2011
- [6] CORSINI: 90 Degree Hybrid Coupler, Worchester Plytechnic Institute, 2013
- [7] JAZI, FIROUZEH: Design and Implementation of Aperture Coupled Microstrip IFF Antenna, PIERS online Vol.4 No.1, 2008

ÁBRAJEGYZÉK

- [2] SKOLNIK Radar Handbook, McGraw-Hill Professional 3rd edition, 2008
- [3] Radartutorial.eu (Monopulse antenna)
- [5] D.JACKSON Overview of microstrip antennas, University of Houston dept. of ECE
- [9] Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook (TS 92-78)
- [1] [4] [6] [7] [8] [10] [11] [12] Saját/szimulált ábra

Dunai Pál¹

REPÜLŐGÉP VEZETŐK KONDICIONÁLIS ÉS KOORDINÁCIÓS VIZSGÁLATÁNAK TAPASZTALATAI²

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszékén zajlott a „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című pályázati kutatás. Az „Adatintegráció” nevű alprogram keretében kiemelt kutatási területként (KKT) a „Pilóta nélküli légijárművek alkalmazásának humán aspektusából történő vizsgálata” nevet viselő kutatási projekt folyt. A kutatások gyakorlati részének alapját orvos-diagnosztikai és teljesítménydiagnosztikai vizsgálati módszerek alkotják. A tanszék tudományos kutatómunkájának keretében először bonyolítottunk le ilyen jellegű vizsgálatot. A cikk ismerteti az elemző vizsgálatok módszertani alapjait, a mérésekből származó kutatási eredményeket és a kapott eredmények statisztikai elemzéséből eredő következtetéseket.

EXPIRENCES OF PILOT'S COORDINATION AND CONDITIONAL EXAMINATIONS

The military aircraft department in National University of Civil Service took part in the application of research, "Critical Infrastructure Protection Research" section. Under the sub-program called "Data Integration" in the "Unmanned aerial vehicles of the application of the human aspect of the examination" as a priority research area bearing the name of research project took place. The basis for the practical part of the research were medical diagnostic performance diagnostic testing methods form. First study of this kind were carried out under the department of scientific research work. This article describes the methodological foundations of the analytical studies, research results and the results obtained from measurements of the conclusions resulting from the statistical analysis.

Az UAV³ kezelőszemélyzet tevékenységének a fizikai igénybevétel és aktivitás szempontjából kiinduló elemzése az élettani (munkaélettani) ismeretek figyelembevételével végezhető el igaztalan. A tervezett kísérletekben arra kereste a kutatócsoport a választ, hogy milyen kondicionális és koordinációs képességek lehetnek előfeltételei az UAV-k hatékony irányításának. A nemzetközi gyakorlat arról tanúskodik, hogy jelenleg a RPA⁴ eszközök kezelésében elsődleges szerepet játszanak a hajózó múlttal rendelkező személyek, ezért azt a célt tűztük ki magunk elé, hogy a hazai hasonló tapasztalattal rendelkező pilótákat vonjuk be a kísérletekbe.[15][17][18]

A KUTATÁS KEZDEMÉNYEZÉSÉRE INSPIRÁLÓ FELTEVÉSEK

1. Nem elegendő csak a legalapvetőbb képességeket fejleszteni, a fizikai képességek alapszintjén túl, olyan speciális képességek fejlesztését is fontosnak tartjuk, amelyek megfelelnek az operátor jellegű munkavégzés követelményeinek.
2. Fontos olyan képességeket fejlettségi szintjét mérni, mint például a finommotoros⁵ koor-

¹ Dr. Dunai Pál egyetemi docens, dunai.pal@uni-nke.hu

² Lektorálta: Dr. Szabó Sándor András o. alezredes, Intézetvezető főorvos helyettese, sasi19620@gmail.com

³ UAV (angol) "Unmanned aerial vehicles" pilóta nélküli légijármű

⁴ RPA (angol) „Remotely piloted aircraft” távirányított légijármű

⁵ finommotorika = a kéz, az ujjak mozgékonyága, együttműködése. A kézmozgás vezérlésében szerepet játszik a szem irányítása, a tapintásos érzékelés, a térben való tájékozódás, a figyelem, a tónusos alkalmazkodás, a forma megtervezésének és visszaadásának összessége.

dináció, a szenzomotoros koordináció, vagy a törzs dinamikus ereje. A speciális igénybevétele adekvát fizikai megjelenését kellene mérni, amely a vizsgálat egyik célja is.

3. Azt tapasztaljuk, hogy mind a képzés, mind a teljesítmény felmérése kapcsán a kondicionális képességek túlsúlyban vannak a koordinációs képességekhez képest.
4. Az összetett koordinációs képességek fejlesztésére, így a finommotoros koordinációra, kéz-láb koordinációjára és a vesztibuláris rendszer alkalmazkodóképességére kell még megfelelő hangsúlyt fektetni.
5. Egyik fő feladatnak tartjuk, hogy szakmai, élettani, - pszichikai és kondicionális oldalról meghatározható legyen a teljesítmény struktúra, amelyből számunkra a kondicionális oldal az elsődleges, azonban ezt csak úgy tudjuk meghatározni, ha a struktúra egyéb összetevőit is megismerjük [1][9].

Kutatási hipotézis

Az UAV eszközök irányítása a fizikai aktivitást (izomműködés jellegét, energiafelhasználást) figyelembe véve a mérsékelt terhelési övezethez sorolható tevékenység. A munka során jelentős mértékű idegi-pszichikai terhelés éri a szervezetet, amely jelentős mértékben befolyásolja a hatékonyságot. Jelentős még az érzékszervekre (receptorokra) ható megterhelés is. A harc feladatok (állandó készségi szolgálatok) végrehajtása során a fellépő fizikai és idegi-pszichés terhelés hatására prognosztizálhatóan csökken a teljesítőképesség. Valószínűsíthető, hogy a professzionális munkavégzőképesség⁶ szignifikáns kapcsolatot mutat az egyén fizikai állapotával⁷ (fizikai felkészültségével). Ezért elsődlegesen fontos szempont a személyzet célirányos fizikai felkészítésében az állóképesség fejlesztése és szinttartása. A tudományos kutatómunka eredményeképpen kimutathatóak a felkészítési rendszer fejlesztéséhez szükséges más fontos faktorok. A vizsgálat sajátossága, hogy a lehetőség nyílik arra, hogy a kondicionális állapot hatását mérni tudjuk a feladat végrehajtás során. Ezzel célirányosabbá és hatékonyabbá tehető nemcsak a kezelőszemélyzetek felkészítése, hanem az ilyen jellegű munkára történő eredményes kiválasztás is.[13][19]

A tevékenység jellegzetes sajátosságai:

- hosszantartó igénybevétele, különböző napszakokban, nem egyenletes terhelési és pihenési szakaszokkal;
- aktív motoros tevékenység hiánya (hipokinézis) és mozgásszegény, kényszerű testtartás a berendezések, lokátorok, monitorok előtt;
- az érzékszervek (látás, hallás) magas fokú terhelése;
- az állandó harckészülségből eredő pszichés terhelések.
- Ezek a faktorok az idegrendszer jelentős megterheléséhez vezethetnek, amelyek állandósulása egészségkárosodáshoz vezethet. A rizikófaktorok hatásaként az állomány tagjai között az átlagtól eltérő számban fordulhatnak elő idegrendszeri megbetegedések;

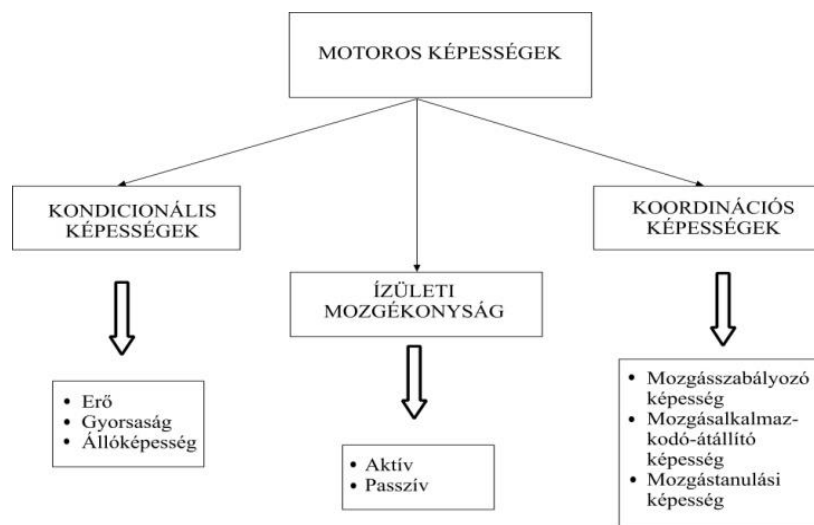
⁶ Professzionális munkavégzőképesség: a katonák optimális kiképzettségi szintje, amely lehetővé teszi számukra a fegyvernemre jellemző harctevékenység végzését. Itt speciális katonai-szakmai fogalomként alkalmazom a katonák professzionális tevékenységét minősítő mérhető paraméterként.

⁷ Fizikai állapot: a katonák testi-fizikai fejlettségét, a szervezetük funkcionális állapotát és a fizikai felkészültségüket jellemző paraméterek összessége.

- hipertóniás (magas vérnyomás) megbetegedések;
- depresszió;
- érzékszervi (főként a látás) túlterheltség és az ebből adódó megbetegedések.

Munkahipotézis

Az ember mozgástevékenységének vizsgálatában a motoros képességek (1. ábra) közül a koordinációs képességek vizsgálatára irányul a legkevesebb 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.[3][14]



1. ábra Motoros képességek (szerkesztette: Dunai Pál)

1. A testi-fizikai képességeken belül a kondicionális képességek alapszintje mellett az összetett koordinációs képességeknek meghatározó szerepe van a pilóták és UAV operátorok készségeinek kialakításában.
2. a fizikai képességeken belül a kondicionális képességek nem mutatnak jelentős eltéréseket a hivatásos állomány átlagértékeihez képest.
3. a koordinációs és pszichomotoros⁸ képességek területén a repülő-hajózók jobb eredményt produkálnak az előbbieik átlagánál:
 - szenzomotoros koordináció⁹,
 - egyensúlyérzék tér- és tájékozódási képesség,
 - vestibuláris rendszer terhelhetőségének fokozása,
 - finom motoros koordináció,
 - reakció- és mozdulatgyorsaság,
 - szenzorium- és mozgásszervek koordinációja
4. A speciális erőjellelű adatok értékei elmaradnak attól a szinttől, amelyet a repülés élettani hatásai igényelnek.

⁸ pszichomotoros: A fizikai mozgások és a mentális tevékenység kapcsolata

⁹ szenzomotoros koordináció: A mozgás szabályozása az észlelési adatok alapján



5. A jelenlegi követelményekben mért paraméterek csak egyes kondicionális képességek mérésére alkalmasak, kivétel az egydimenziós hinta, amely a vesztibuláris alkalmazkodó képességet, és a túlterhelést méri. Hiányzik a koordinációs képességek mérésére alkalmas eljárás, pedig a készségekhez kapcsolódó koordinációs képességeket is mérni, illetve fejleszteni kell.
6. A teljesítmény mennyiségi és minőségi értékei jelentős mértékben romlanak nagyfokú fizikai és pszichikai igénybevétel során, amely a fáradás által kiváltott artefaktumoknak köszönhető.
7. A megfelelően adagolt terheléssel, az edzettségi szint fokozott növelésével a fáradási küszöb kitolható, amely a permanens repülési feladatok magasabb színvonalú végrehajtását eredményezi.
8. A kontrollcsoport bevonásával a tesztek objektivitása és prediktív validitása alátámasztható.

A kutatásba bevont állomány:

1. vizsgálati csoport – 49 fő hajózó beosztású az MH 86. SZHB állományából, az NFTC program hallgatói (VCS1);
2. 12 fő UAV kezelői beosztásban lévő katona (VCS2);
3. kontroll csoport – 12 fő honvéd tisztjelölt a NKE HTHTK KÜI Katonai Repülő tanszék hallgatói és szolnoki gimnáziumi tanulók (KCS).

A kísérlet alkalmazásakor felmerülő hibák kiküszöbölése:

1. Keresztmetszeti vizsgálatot végzünk, a vizsgálatnál kontroll csoporttal dolgozunk, a vizsgálatokat a vizsgálati időszak alatt kétszer megismételjük.
2. A felmérés alanyai minden adatfelvételnél ugyanazok legyenek.
3. A végső adatfeldolgozásban csak azok adatait dolgozzuk fel, amelyeknek minden felmérési adata szerepel.
4. A környezeti létesítménybeli, eszközbeli, pihentségbeli feltételek azonosak legyenek.
5. Transzferhatás és a gyakorlási effektus nem befolyásoló tényező.

Az adatfeldolgozás matematikai-statisztikai módszerei:

- a mért adatok átlagszámítása,
- az átlag szórásának számítása,
- kétmintás "t"- próba,
- szórásszámítás,
- variációs együttható számítása,
- korrelációs számítás,
- megbízhatósági intervallum, szignifikancia számítása.

A statisztikai elemzések a MS Office 2010 Excel szoftver „*Analysis ToolPak*” segítségével történtek.

A kutatás műszer igénye:

- JAEGER futószőnyeg ergométer,
- HELIGE kerékpár-ergométer,
- 2 db KTD-8 diagnosztikai táska,
- 2 db vérnyomásmérő,
- IBM PC számítógép,
- SPIROSCOPE-PC (légzésfunkció vizsgáló készülék, amely csatlakoztatható az IBM kompatibilis számítógéphez),
- Egy darab grafikus és szöveges digitális adatbeolvasó,
- Egy darab három csatornás monitorírozásra alkalmas EKG,
- Üzemeltető programok, jegyzőkönyvek elkészítéséhez,
- GPM antropométer táska, Holtain LTD-tolómérő, Lange Skinfold Caliper bőrredőmérő.

A VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ELMÉLETI IDOKLÁSA

A mozgástevékenység sajátosságai befolyással vannak a szervezet vegetatív reakcióira. A kéz és ujjizmok dominanciájával végzett munka rendkívül fárasztó mivel megváltoztatja a kapilláris vérkeringést és a bőrhőmérsékletét. A hipokinézis¹⁰ körülménye között végzett munka hatására, ami a vizsgált tevékenységre is nagy mértékben jellemző, gyakrabban jelentkezhetnek különböző gyomor- és bélrendszeri megbetegedések és a hormonális rendszer zavarai. Ezek a negatív hatások jelentős mértékben csökkenthetik a hatékonyságot, amely meghatározó lehet a feladatok (harcfeladatok) eredményes végrehajtása szempontjából [12][14].

Jellemző az a körülmény, hogy a munkavégzőképesség csökkenésében a vezető szerepet a szellemi fáradás játssza. Az elfáradás élettani állapot, ami az emberi tevékenységhez hozzátartozik és minden emberi tevékenységet kísér. Ennek szubjektív és objektív tünetei vannak, melyek elsősorban abban a szubjektív érzésben nyilvánul meg, hogy a munka kezd kellemetlenné válni. Ehhez csatlakozik később az elfáradás objektív tünete: a *munkateljesítmény fokozatos csökkenése*. [12] Idővel azután bekövetkezik az, az állapot, amikor az ember már nem bírja tovább folytatni a munkáját. Az elfáradás valójában figyelmeztetés a munkavégző ember számára. Megfelelő pihenés után ismét teljes erővel képesek leszünk a munka folytatására. Ha azonban nem engedünk a fáradtság jelzésének, akkor ez az állapot kórossá válik, és ilyenkor már komoly, a szervezetre káros következmények is kifejlődhetnek. Ezek a tünetek még fokozottabb jelentőséggel bírnak a vizsgált tevékenység során, hiszen, egyrészt akár több milliós értékű készülékeket kell rendeltetés szerint megfelelő hatékonysággal működtetni olyan speciális szituációban, amikor a tevékenység végzésével járó negatív tünetek mellett a fegyveres küzdelemből adódó állandó veszélyeztetettségből (életveszély) adódó pszichológiai faktorokkal is számolnunk kell [11].

Az egyensúlyozás képessége a motoros képességek egyik fontos alkotórésze, a mozgásfeladat eredményes megvalósításának fontos faktora a munkatevékenységben és a sportban egyaránt. Az egyensúllyal szembeni követelmények ismerete elsődlegesen fontos a motoros feladatok

¹⁰ hipokinézis. csökkent mértékű izommozgás

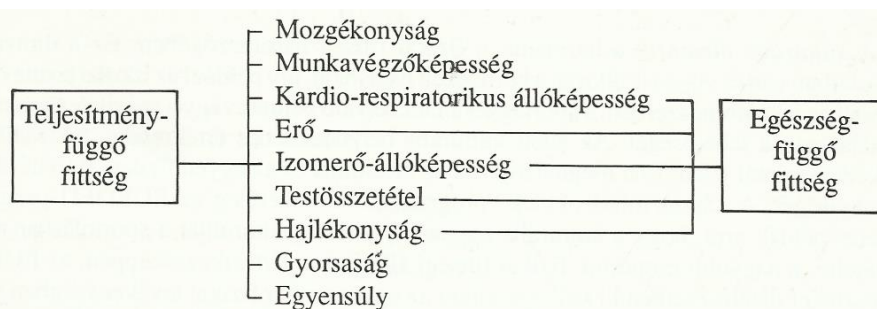
végrehajtásában. Ez az emberi élet teljes periódusában jól vizsgálható paraméter. A képesség vizsgálata beépült az EU-ban alkalmazott „EUROFIT” felmérési rendszerbe. A repülés káros élettani hatásainak toleranciája és esetleges csökkentése érdekében a hajózó állomány képzésében jelentős figyelem kell, hogy irányuljon e képesség fejlesztésére.[9][14]

A kutatás célja, hogy ismertesse e képesség szakmai értelmezését és a képzésben résztvevők eredményeinek elemzésén keresztül képet adjon arról, hogy milyen szinten áll e fontos képesség fejlettsége a pilótáknál, UAV operátoroknál és előképzettséggel nem rendelkező vizsgálati személyeknél.

A vizsgálati rendszerbe bevont tesztek kiválasztásának kritériumai:

- A tesztek belső (szerkezeti) érvényessége a faktor-analízis segítségével megállapítható legyen, hogy meghatározhatóak legyenek a független paraméterek, kiválaszthatóak legyenek a fizikai fittség dimenzióinak és elemeinek megfelelő tesztjei.
- Kimutatható legyen a tesztek külső (egybehangzó) érvényessége, hogy pontosan jellemezze az átlagos fizikai fittség szintjét és, hogy lehetővé tegye a különböző csoportok közötti megkülönböztetést a teljesítmény szintje, illetve intenzitása alapján.
- A tesztek megbízhatósága és objektivitása magas szinten legyen mérhető. Ezt részben a teszt-reteszt próbával, másrésztől a különböző tesztelést végrehajtók által mért értékek összehasonlításával ellenőrizhető.
- Végül, a nagy volumenű kutatási célú használhatóság mellett, a teszteknek, praktikusnak és alkalmazhatóaknak kell lenniük más szervezeti keretek között is. Ezért az egyszerűbb tesztek előnyben részesülnek a bonyolultabbakkal szemben, ha ez nem megy a megbízhatóság, az érvényesség és az objektivitás kritériumának rovására [13][14].

Az 1. táblázat a fizikai fittség kilenc elemét mutatja be. Látható, hogy egyes elemek közösek, mind a teljesítmény – mind az egészségfüggő fitsséggel kapcsolatosak.



1. táblázat A fittség összetevői[14]

A fizikai fittség fogalmának három fő alkotórésze különíthető el: az organikus, a motoros és a kulturális. Az organikus dimenzió szoros kapcsolatban van az egyén testalkatával az energiatermelési és a munkavégzési folyamatok miatt. A motoros dimenzió a mozgáskontrollt és az izommunkához szükséges ügyesség pszichomotoros kapacitás fejlettségét is magába foglalja. Erre a nagyon összetett fogalomra általánosan a „motoros fittség” kifejezés használatos. Ezt nem lehet egyetlen teszttel vizsgálni, ehhez a motoros fittség különböző elemeit vizsgáló teszt együttes szükséges. Az alapösszetevők közül három – erő, izomerő-állóképesség és gyorsaság – önmagában is több faktort fed le, ezért két tesztre van szükségünk, hogy ezeket a faktorokat mérhessük.

Az ízületi mozgékonyág (hajlékonyág) és az egyensúly egy-egy teszttel mérhető. Lényeges, hogy a tesztek annak figyelembevételével kell összeállítani, hogy az általános motoros teljesítőképességet mérjék és ne a mozgás-végrehajtási vagy a szakmabeli gyakorlottságot.

Az elvégzett elemzés eredményeképpen összeállításra került a kutatott témához kapcsolódó pálya tesztek rendszere, amely a 2. táblázatban látható:

Dimenzió	Faktor	Kijelölt teszt feladat
Kardio-respiratorikus állóképesség	Kardio-respiratorikus állóképesség	Cooper futó-teszt
Erő	Statikus erő	Kézi szorítóerő
	Explozív erő	Helyből távolugrás
Izomerő állóképesség	Karero funkcionális	Függés hajlított karral
	Törzserő	Felülés
Gyorsaság	Futási gyorsaság	10x5 m-es ingafutás
	Végtagmozgás gyorsasága	Lapérintés
Ízületi mozgékonyág	Ízületi mozgékonyág	Állásban előrenyúlás
Egyensúly	Teljes testegyensúly	Flamingó teszt

2. táblázat Kutatási tesztfeladatok [14]

A tesztek végrehajtásának sorrendje: egyensúly, lapérintés, állásban előrenyúlás, helyből távolugrás, felülés, függés hajlított karral, 10x5 méteres ingafutás, Cooper futó-teszt.

A pályatesztek megkezdése előtt a vizsgált személyek aktuális egészségi státuszának gyors meghatározása céljából alap antropometriai és orvosi adatok rögzítésére került sor.

A teszt feladatok rövid leírása

1. Cooper- teszt

Vizsgált tényező: kardio-respiratorikus állóképesség

Leírás: 12 perc alatt megtett futótávolság rögzítése

2. Flamingó egyensúly teszt

Vizsgált tényező: általános egyensúly

Leírás: egy lábon való egyensúlyozás a megadott méretű gerendán

3. Lapérintés

Vizsgált tényező: a végtagmozgás gyorsasága

Leírás: két lap gyors megérintése, váltakozva az ügyesebbik kézzel.

4. Állásban előrenyúlás

Vizsgált tényező: ízületi mozgékonyág

Leírás: speciális mérőegységen alapállásban a lehető legmélyebbre nyúlás

5. Helyből távolugrás

Vizsgált tényező: explozív erő

Leírás: álló helyzetből távolugrás

6. Kézi szorítóerő

Vizsgált tényező: statikus erő

Leírás: hitelesített kézi dinamométer alkalmazásával végrehajtott mérés terhelés előtt és terhelés után

7. Felülés

Vizsgált tényező: törzs ereje (hasizom erő-állóképessége)

Leírás: a fél perc alatti maximális számú felülés

8. Függes hajlított karral

Vizsgált tényező: funkcionális erő (a kar és a váll izomerő-állóképessége)

Leírás: megtartani a hajlított karú helyzetet rúdon való függés közben

9. 10×5 méteres ingafutás

Vizsgált tényező: futási sebesség

Leírás: maximális sebességű futás, fordulás tesztje

SSZ.	TESZT	SZÁMKÓD	MÉRTÉKEGYSÉG
1	10×5 MÉTERES INGAFUTÁS (5MIF)	PT_0007	sec, 00,0
2	COOPER- TESZT (COOPT)	PT_0008	m
3	EGYENSÚLY (FLT)	PT_0001	hibaszám
4	FELÜLÉS (FÜ)	PT_0005	db/30 sec
5	FÜGGÉS HAJLÍTOTT KARRAL (FHK)	PT_0006	sec, 00,0
6	HELYBŐL TÁVOLUGRÁS (HTU)	PT_0004	cm
7	LAPÉRINTÉS (TPT)	PT_0002	sec. 00,00
8	SZORÍTÓERŐ balkéz (SZERBTE;TU)	PT_0009	kg
9	SZORÍTÓERŐ jobb kéz (SZERJTE; TU)	PT_00010	kg
10	ÜLÉSBEN ELŐRENYÚLÁS	PT_0003	cm
ANTROPOMETRIA:			
1	TESTTÖMEG	TT	cm
2	TESTMAGASSÁG	TM	cm
3	ALAPPULZUS	AP	ütés/perc
4	SYSTOLÉS VÉRNYOMÁS NYUGALOMBAN	SYSny	Hgmm
5	DIASTOLÉS VÉRNYOMÁS NYUGALOMBAN	DIASny	Hgmm
6	BODY MASS INDEX	BMI	
7	TESTFELSZÍN	BSA	m ²

3. táblázat A tesztek kódolása és mértékegységei

A MOTOROS PÁLYATESZTEK ÉS AZ ANTROPOMETRIAI VIZSGÁLTOK EREDMÉNYEI ÉS STATISZTIKAI ELEMZÉSÜK

Az alábbi táblázatokban láthatóak azok a vizsgálati eredmények, melyeket a kutatásba bevont személyeknél rögzítettünk a kutatási időszak alatt. A statisztikai adatelemzés során a kutatási terven meghatározott adatfeldolgozási módszereket alkalmaztuk. A vizsgálatba bevont csoportok az alábbi átlagéletkorral rendelkeztek:

VCS_1 36,62 év

VCS_2 31,17 év

KCS 18,07 év

Az antropometriai és orvosi adatok arról tanúskodnak, hogy a kutatásba bevont személyek között senki sem rendelkezett kockázatot jelentő egészségi állapottal, amely nem tette volna lehetővé számukra a feladatok végrehajtását.



Kód:	FLT	TPT	IMT	HTU	FÜ	FHK	5MIF	COOPT	SZERBTE	SZERJTE	SZERBTU	SZERJTU
VCS1_001	13	12,24	53	224	24	113,42	20,18	2410	60	46	50	64
VCS1_002	12	13,36	50	210	23	45,64	20,18	2340	42	44	44	42
VCS1_003	5	10,43	29	222	28	57,16	18,68	2580	40	40	38	40
VCS1_004	5	10,5	28	227	24	46,68	21,86	2380	50	50	46	52
VCS1_005	12	10	38	190	29	90,00	22,29	2815	64	64	66	56
VCS1_006	12	11,15	34	195	21	66,09	21,45	2250	56	56	46	46
VCS1_007	20	12,24	45	195	24	15,28	18,14	2410	50	60	50	64
VCS1_008	12	11,14	44	203	24	34,54	17,8	2010	53	49	48	54
VCS1_009	10	10,84	33	181	23	54,60	19,9	2520	52	54	52	48
VCS1_010	7	11,8	32	206	23	32,46	19,9	2400	56	64	62	63
VCS1_011	11	8,84	28	216	28	37,09	19,15	2120	50	58	56	56
VCS1_012	11	9,8	18	197	23	30,00	18,17	2360	42	48	48	42
VCS1_013	8	12	39	200	28	30,00	21,00	2400	46	54	40	50
VCS1_014	9	12	47	170	25	58,00	20,00	2090	30	41	30	38
VCS1_015	0	8	38	260	28	60,00	20,00	2980	54	67	65	60
VCS1_016	11	11	54	250	32	35,00	20,00	2850	54	58	56	61
VCS1_017	10	12	42	255	26	73,00	17,00	2560	50	50	48	48
VCS1_018	4	10	31	210	24	71,00	17,00	2120	45	42	50	58
VCS1_019	8	10	25	229	23	15,00	18,00	1970	50	50	50	50
VCS1_020	8	10	32	230	19	35,00	19,00	2160	48	58	56	72
VCS1_021	18	15	38	180	8	4,00	18,00	1600	60	70	65	70
VCS1_022	12	9	27	200	22	18,00	17,00	2120	45	40	45	45
VCS1_023	4	10	34	220	26	30,00	19,00	2400	40	40	40	40
VCS1_024	2	7	29	220	26	35,00	16,00	2448	58	60	54	56
VCS1_025	12	8	34	224	27	31,00	18,53	2510	50	50	60	66
VCS1_026	12	14,62	44	196	27	31,00	18,42	2550	52	47	50	47
VCS1_027	9	7,64	40	200	22	20,00	21,43	2300	50	60	61	60
VCS1_028	14	10,17	31	216	23	4,00	19,26	2090	50	60	48	65
VCS1_029	7	11,18	28	203	29	7,00	18,89	2090	50	70	55	64
VCS1_030	16	13,61	46	232	24	26,20	19,54	2200	56	55	44	62
VCS1_031	10	11,28	48	228	24	21,00	0,00	2710	45	45	50	48
VCS1_032	9	12	38	180	15	15,00	20,00	1850	52	56	64	70
VCS1_033	9	9	31	190	20	11,00	21,00	1900	52	58	54	60
VCS1_034	6	8	38	184	23	15,00	18,00	1910	50	52	54	56
VCS1_035	9	12	22	172	18	7,00	19,00	1850	44	50	56	52
VCS1_036	8	9	21	192	20	26,00	19,00	2490	60	62	52	52
VCS1_037	3	9	49	238	31	70,00	19,00	2500	45	40	44	44
VCS1_038	10	10	33	193	23	32,00	21,00	2315	52	50	58	50
VCS1_039	12	14	40	168	18	34,00	21,00	2100	60	60	56	52
VCS1_040	15	11	30	180	32	11,00	21,00	2510	42	50	45	50
VCS1_041	7	9	31	195	31	16,00	15,00	2170	48	56	46	58
VCS1_042	9	10	36	175	20	6,00	20,00	2310	46	52	50	44
VCS1_043	10	15	39	220	19	9,00	21,00	1890	66	66	68	73
VCS1_044	10	10	47	220	27	20,00	18,90	2295	50	58	50	64
VCS1_045	5	10	33	200	25	40,00	21,84	2550	50	58	49	56
VCS1_046	5	12,15	35	200	27	5,00	22,90	2125	41	50	40	46
VCS1_047	2	9,14	43	250	28	40,00	19,30	2215	55	55	56	56
VCS1_048	7	8,55	33	226	25	23,56	19,77	2790	46	48	44	40
VCS1_049	6	10,17	30	200	25	36,34	20,34	2510	48	50	44	42
átlag:	9,10	10,67	36,08	207,59	24,16	33,55	19,06	2306,59	50,10	53,49	51,08	54,12
	<i>FLT</i>	<i>TPT</i>	<i>IMT</i>	<i>HTU</i>	<i>FÜ</i>	<i>FHK</i>	<i>5MIF</i>	<i>COOPT</i>	<i>SZERBTE</i>	<i>SZERJTE</i>	<i>SZERBTU</i>	<i>SZERJTU</i>
FLT	1											
TPT	0,521607	1										
IMT	0,227233	0,365718	1									
HTU	-0,33555	-0,228712	0,26838	1								
FÜ	-0,3086	-0,354429	0,163961	0,426075	1							
FHK	-0,17032	-0,052332	0,310904	0,306495	0,287364	1						
5MIF	-0,02064	0,06238	-0,111044	-0,192881	-0,013881	0,11367	1					
COOPT	-0,21161	-0,283258	0,189339	0,437123	0,614162	0,458741	-0,095085	1				
SZERBTE	0,19314	0,157687	0,103627	0,100347	-0,271897	0,116066	0,144464	-0,031576	1			
SZERJTE	0,141011	0,074874	-0,091814	-0,056003	-0,235685	-0,271735	0,21317	-0,123491	0,6883436	1		
SZERBTU	0,078818	-0,012524	-0,039189	0,024994	-0,3512	-0,105735	0,051982	-0,114603	0,7194717	0,698043	1	
SZERJTU	0,238226	0,111538	0,123159	0,127428	-0,272351	-0,187258	0,054973	-0,320378	0,5987411	0,693815	0,70434	1

4. táblázat A VCS1. vizsgálati csoport eredményei



Kód:	FLT	TPT	IMT	HTU	FÜ	FHK	5MIF	COOPT	SZERBTE	SZERJTE	SZERBTU	SZERJTU
VCS2_001	7	11,86	49	222	20	54,87	18,56	2550	60	52	57	50
VCS2_002	10	10,64	48	218	30	34,02	16,89	2550	53	51	53	57
VCS2_003	18	15,89	38	198	23	23,62	20,54	2280	35	50	54	46
VCS2_004	29	12,87	43	220	28	40,98	15,73	2600	41	44	38	42
VCS2_005	17	15,53	35	204	29	0	21,23	2590	57	58	58	52
VCS2_006	15	11,76	32	172	27	34,18	19,82	2000	35	33	30	32
átlag:	16	13,09	40,83	205,67	26,17	31,28	18,80	2428,33	46,83	48,00	48,33	46,50
	FLT	TPT	IMT	HTU	FÜ	FHK	5MIF	COOPT	SZERBTE	SZERJTE	SZERBTU	SZERJTU
FLT	1											
TPT	0,3928	1										
IMT	-0,3417	-0,5137	1									
HTU	-0,0247	-0,1668	0,8751	1								
FÜ	0,3518	-0,1267	-0,2510	-0,0967	1							
FHK	-0,2157	-0,7028	0,6403	0,3245	-0,5017	1						
5MIF	-0,2605	0,6530	-0,6731	-0,6010	-0,2223	-0,6404	1					
COOPT	0,0760	0,0244	0,6544	0,9235	0,1290	-0,0132	-0,4209	1				
SZERBTE	-0,5437	-0,1875	0,5574	0,6354	-0,0545	0,0089	-0,0414	0,7262	1			
SZERJTE	-0,2343	0,4169	0,3803	0,6314	-0,0661	-0,3877	0,1954	0,7627	0,7256	1		
SZERBTU	-0,4560	0,3548	0,4263	0,5532	-0,2704	-0,2648	0,2854	0,6057	0,6978	0,9533	1	
SZERJTU	-0,4004	0,0241	0,6275	0,7243	0,0915	-0,1764	-0,0996	0,7676	0,7545	0,8893	0,8750	1

5. táblázat A VCS2 vizsgálati csoport eredményei

Kód:	FLT	TPT	IMT	HTU	FÜ	FHK	5MIF	COOPT	SZERBTE	SZERJTE	SZERBTU	SZERJTU
KCS_007	5	11,50	51	183	30	56,28	20,40	2800	36	32	36	32
KCS_008	4	12,07	55	196	27	36,84	20,40	2200	32	30	32	30
KCS_009	7	9,69	45	208	30	59,54	17,58	2700	48	48	48	48
KCS_010	6	10,25	35	250	29	61,00	17,58	2200	30	36	30	36
KCS_011	1	10,40	56	180	29	44,00	18,54	2400	47	47	47	47
KCS_012	7	9,60	39	228	33	44,00	21,52	2700	30	39	30	39
KCS_013	4	10,46	49	222	31	64,00	17,72	2800	30	34	30	34
KCS_014	7	10,84	32	200	28	13,00	18,83	2560	42	50	42	50
KCS_015	14	9,57	37	231	35	60,00	16,40	2750	50	48	50	48
KCS_016	4	8,89	57	240	45	69,00	21,53	2940	50	50	50	50
KCS_017	8	9,14	51	225	30	69,00	17,20	2950	36	34	36	34
KCS_018	2	10,90	36	218	34	80,00	17,20	2830	40	50	40	50
átlag:	5,75	10,28	45,25	215,08	31,75	54,72	18,74	2652,50	39,25	41,5	39,25	41,5
	FLT	TPT	IMT	HTU	FÜ	FHK	5MIF	COOPT	SZERBTE	SZERJTE	SZERBTU	SZERJTU
FLT	1											
TPT	-0,40153	1										
IMT	-0,43979	0,010036	1									
HTU	0,379249	-0,632786	-0,350303	1								
FÜ	0,052043	-0,60084	0,166509	0,514544	1							
FHK	-0,05636	-0,389759	0,157718	0,477034	0,486859	1						
5MIF	-0,32509	0,120451	0,398542	-0,162684	0,291163	-0,325667	1					
COOPT	0,189285	-0,525475	0,095557	0,188461	0,585897	0,518598	-0,033397	1				
SZERBTE	0,184823	-0,394623	0,106795	-0,11882	0,469027	0,067885	-0,163698	0,292348	1			
SZERJTE	0,062596	-0,390133	-0,3183	0,075776	0,464787	-0,003377	-0,182844	0,243219	0,8124911	1		
SZERBTU	0,184823	-0,394623	0,106795	-0,11882	0,469027	0,067885	-0,163698	0,292348	1	0,812491	1	
SZERJTU	0,062596	-0,390133	-0,3183	0,075776	0,464787	-0,003377	-0,182844	0,243219	0,8124911	1	0,812491	1

6. táblázat A kontrol csoport eredményei



ANTROPOMETRIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

	TT	TM	AP	SYSny	DIASn	M	BMI	BSA
VCS1_001	80	180	60	120	80	1,8	24,7	2,00
VCS1_002	73	171	66	100	70	1,71	25,0	1,85
VCS1_003	65	171	60	115	70	1,71	22,2	1,76
VCS1_004	83	182	84	115	70	1,82	25,1	2,04
VCS1_005	76	177	60	110	60	1,77	24,3	1,93
VCS1_006	80	185	90	120	80	1,85	23,4	2,04
VCS1_007	86	182	60	120	70	1,82	26,0	2,08
VCS1_008	85	170	72	105	72	1,7	29,4	1,97
VCS1_009	87	180	60	130	70	1,8	26,9	2,07
VCS1_010	66	172	90	100	60	1,72	22,3	1,78
VCS1_011	83	173	78	120	80	1,73	27,7	1,97
VCS1_012	82	182	78	100	60	1,82	24,8	2,03
VCS1_013	75	178	72	130	70	1,78	23,7	1,93
VCS1_014	60	170	72	105	60	1,7	20,8	1,69
VCS1_015	84	183	78	130	80	1,83	25,1	2,06
VCS1_016	100	185	60	120	80	1,85	29,2	2,24
VCS1_017	84	187	60	105	60	1,87	24,0	2,10
VCS1_018	68	173	74	120	90	1,73	22,7	1,81
VCS1_019	94	179	60	140	80	1,79	29,3	2,13
VCS1_020	95	185	66	100	60	1,85	27,8	2,19
VCS1_021	100	183	78	120	70	1,83	29,9	2,22
VCS1_022	80	172	74	110	90	1,72	27,0	1,93
VCS1_023	88	182	72	130	80	1,82	26,6	2,10
VCS1_024	83,8	191	90	140	100	1,91	23,0	2,13
VCS1_025	74	176,5	70	120	80	1,765	23,8	1,90
VCS1_026	79	172	71	135	80	1,72	26,7	1,92
VCS1_027	93,2	182	70	130	70	1,82	28,1	2,15
VCS1_028	110	188	78	135	75	1,88	31,1	2,36
VCS1_029	127	188	60	130	70	1,88	35,9	2,51
VCS1_030	75	176	78	120	80	1,76	24,2	1,91
VCS1_031	85,3	185	58	120	60	1,85	24,9	2,09
VCS1_032	90,4	183	84	130	80	1,83	27,0	2,13
VCS1_033	96	184	77	130	90	1,84	28,4	2,19
VCS1_035	78	178	84	120	80	1,78	24,6	1,96
VCS1_036	87,4	183	80	120	80	1,83	26,1	2,10
VCS1_037	73	171	60	130	80	1,71	25,0	1,85
VCS1_038	85,4	178	58	110	70	1,78	27,0	2,04
VCS1_039	83,6	178	60	120	60	1,78	26,4	2,02
VCS1_040	80	182	58	110	70	1,82	24,2	2,01
VCS1_041	89	186	60	120	80	1,86	25,7	2,14
VCS1_042	84,3	180	79	130	90	1,8	26,0	2,04
VCS1_043	83,7	185	70	110	70	1,85	24,5	2,08
VCS1_044	82	171	58	120	80	1,71	28,0	1,94
VCS1_045	70	175	57	125	80	1,75	22,9	1,85
VCS1_046	90	175	55	120	80	1,75	29,4	2,06
VCS1_047	93	183	70	120	80	1,83	27,8	2,15
VCS1_048	78,6	175	83	124	63	1,75	25,7	1,94
VCS1_049	65	174	88	127	66	1,74	21,5	1,78
átlag:	83,56	179,20	70,42	120,02	74,50	1,79	25,94	2,02
átlagos eltérés:	8,17	4,84	8,92	7,74	8,02	0,05	2,12	0,12
variancia:	135,66	31,09	107,03	107,60	90,04	0,00	7,54	0,02
szórás:	11,65	5,58	10,35	10,37	9,49	0,06	2,75	0,15

7. táblázat A VCS1 vizsgálati csoport antropometriai eredményei



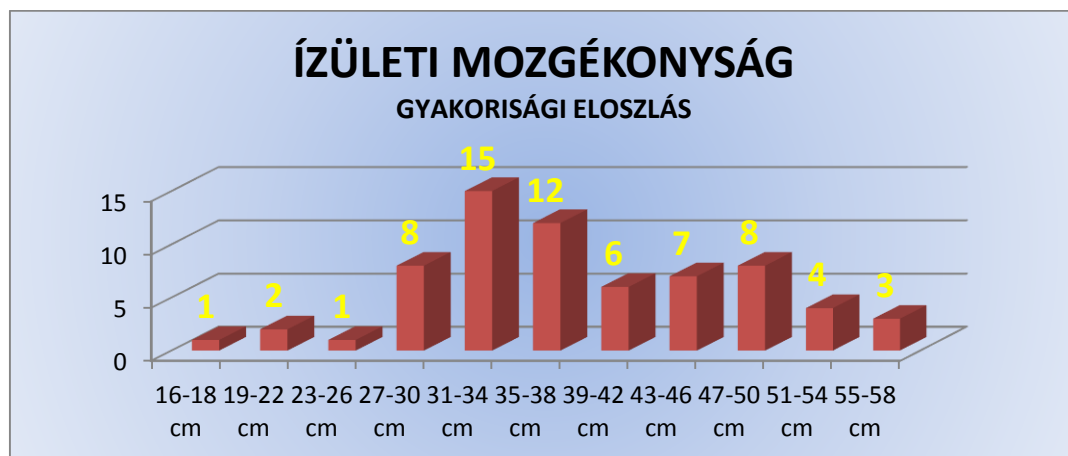
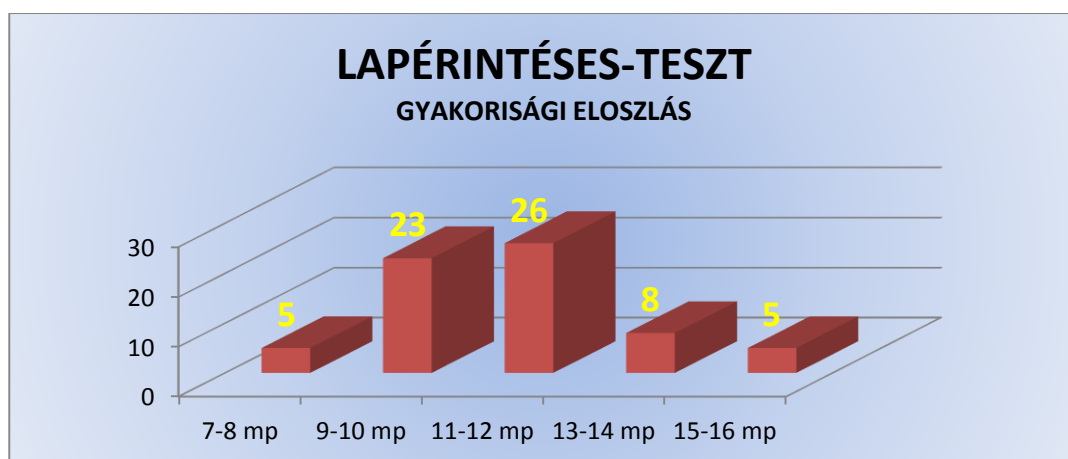
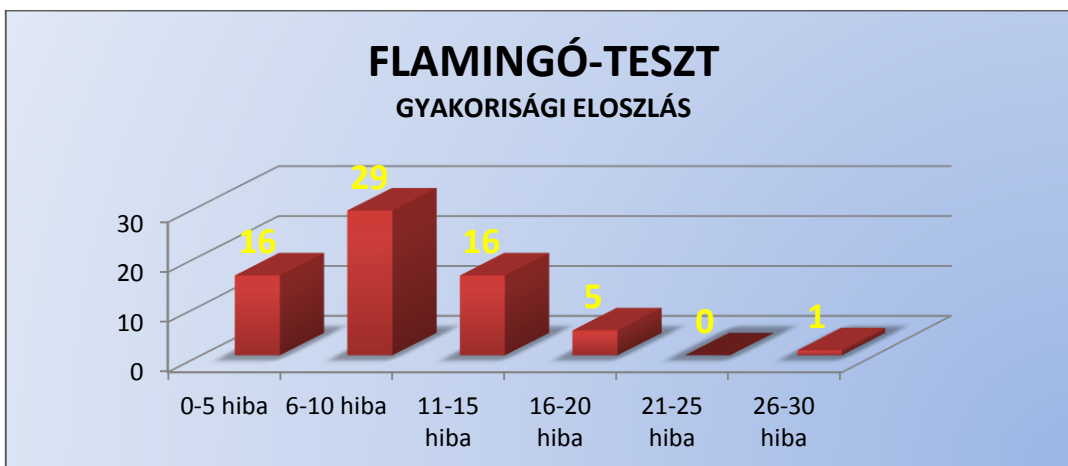
KÓD:	TT	TM	AP	SYSny	DIASny	BMI	BSA
VCS2_001	68,2	178	75	128	72	21,5	1,85
VCS2_002	76,4	175	74	126	65	24,9	1,92
VCS2_003	79	175	75	119	75	25,8	1,95
VCS2_004	66,7	176	61	108	75	21,5	1,82
VCS2_005	111,5	196	70	110	74	29,0	2,45
VCS2_006	59,2	171	69	134	81	20,2	1,69
átlag:	76,83	178,50	70,67	120,83	73,67	23,85	1,95
átlagos eltérés:	12,28	5,83	4,00	8,50	3,44	2,74	0,17
variancia:	282,47	65,58	24,22	89,47	22,56	9,26	0,06
szórás:	16,81	8,10	4,92	9,46	4,75	3,04	0,24

8. táblázat A VCS2 vizsgálati csoport antropometriai eredményei

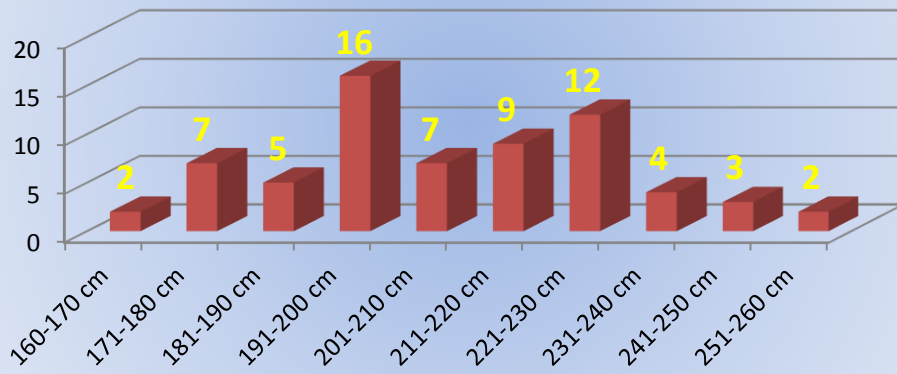
KÓD:	TT	TM	AP	SYSny	DIASny	BMI
KCS_007	64,4	175	66	100	60	21,0
KCS_008	64,2	175	82	98	78	21,0
KCS_009	60,4	179	81	114	77	18,9
KCS_010	72,1	189	66	135	80	20,2
KCS_011	60	170	75	138	77	20,8
KCS_012	71,9	184	77	126	84	21,2
KCS_013	57,3	170	76	128	81	19,8
KCS_014	87,4	188	73	135	78	24,7
KCS_015	79	178	67	141	69	24,9
KCS_016	72,8	176	54	144	72	23,5
KCS_017	54,3	163	52	127	79	20,4
KCS_018	54,3	167	72	115	67	19,5
átlag:	66,51	176,17	70,08	125,08	75,17	21,33
átlagos eltérés:	8,44	6,19	7,57	12,22	5,44	1,53
variancia:	97,06	59,47	84,08	214,58	43,14	3,65
szórás:	9,85	7,71	9,17	14,65	6,57	1,91

9. táblázat a kontrolcsoport antropometriai vizsgálati eredményei

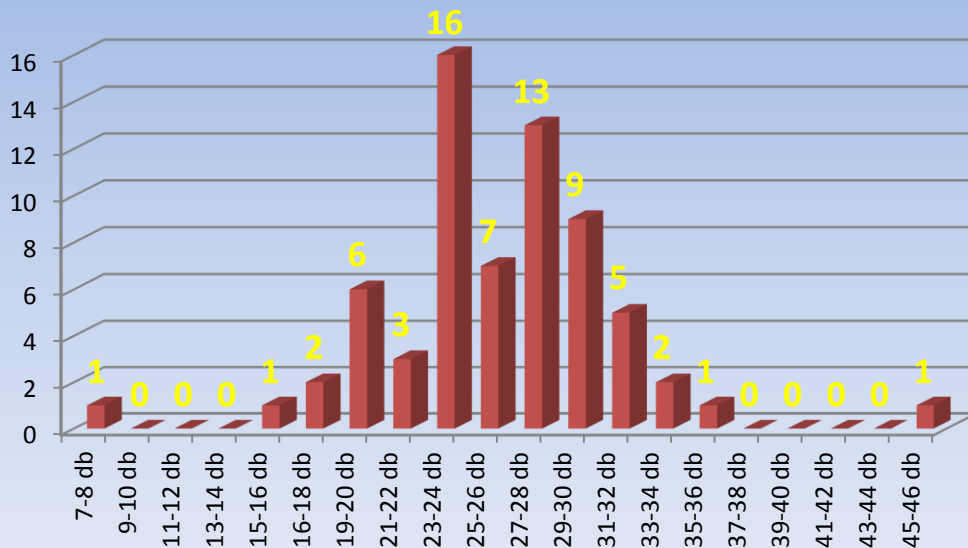
BMI Értékelés	BMI index érték
kórosan sovány	<15
sovány	15–18,5
normál testsúly	18,5–24,9
túlsúlyos	25–29,9
kóros túlsúly/elhízott	>30



HELYBŐL TÁVOLUGRÁS GYAKORISÁGI ELOSZLÁS

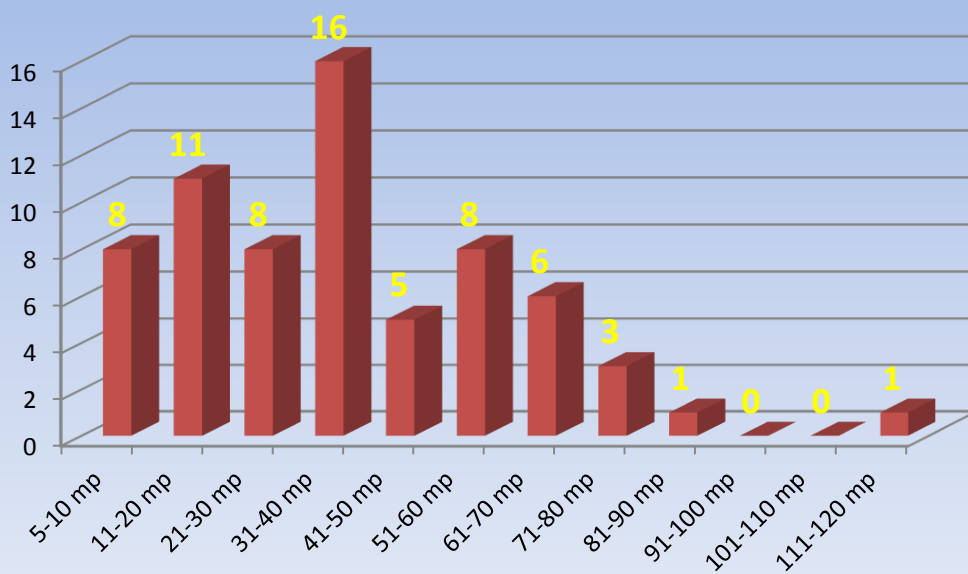


FELÜLÉS GYAKORISÁGI ELOSZLÁS



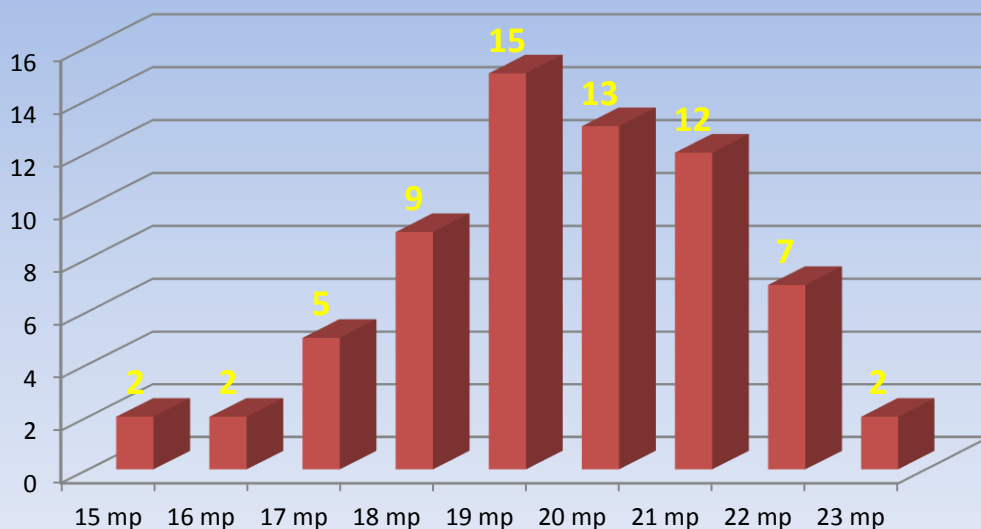
FÜGGÉS HAJLÍTOTT KARRAL

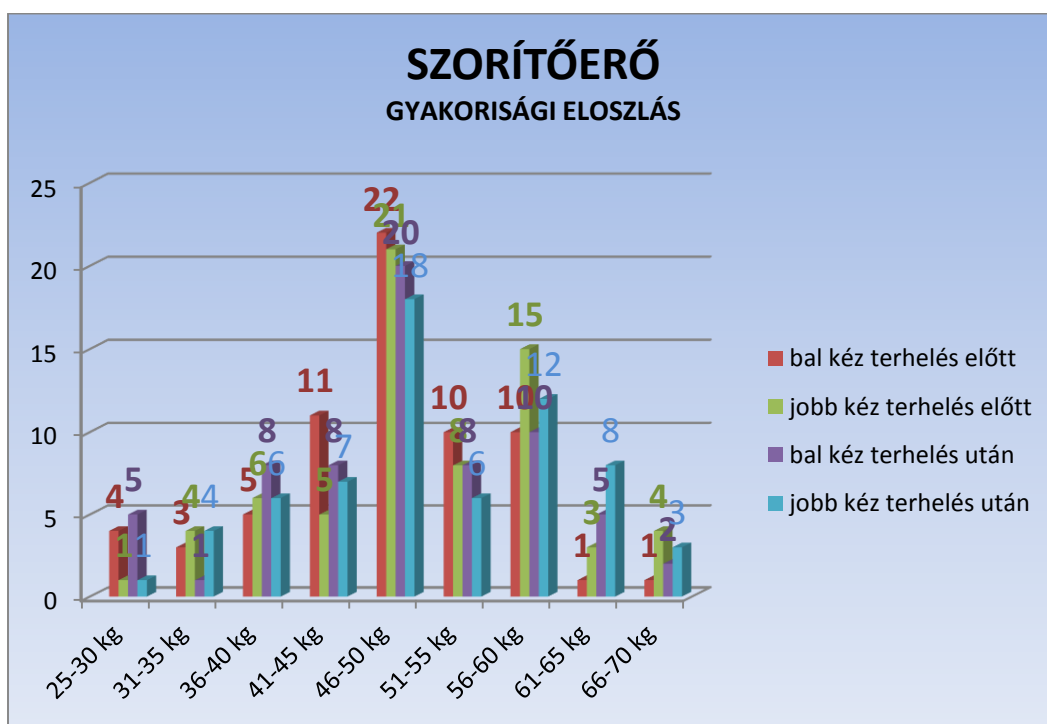
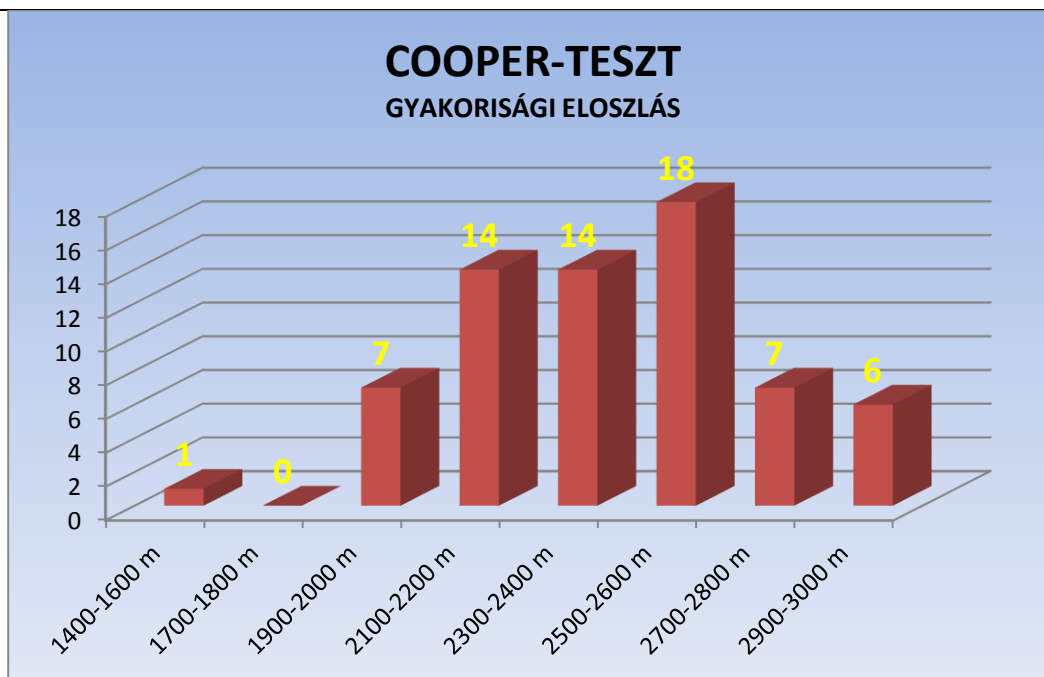
GYAKORISÁGI ELOSZLÁS



10x5 MÉTERES INGAFUTÁS

GYAKORISÁGI ELOSZLÁS





KÖVETKEZTETÉSEK A STATISZTIKAI MUTATÓK ALAPJÁN

1. a korrelációs vizsgálat bebizonyította, hogy a mintavétel és a felmérésre kijelölt paraméterek választása helyes volt;
2. az antropometriai jellemzők, a keringési rendszer jellemzői, valamint a kondicionális képességek és az összetett képesség összefüggéseinek vizsgálata a szakirodalmi adatoknak megfelelő eredményt hoztak kitűnő kvalitatív értékben;
3. az összefüggések közül komoly diagnosztikai, illetve prognosztikai értéke van a testtömeg erős pozitív korrelációjának a vérnyomással, pulzusszámmal és a testzsír százalékkal, BMI index-szel;

4. jelentős összefüggésnek tartom a vérnyomás erős pozitív kapcsolatát a testtömeggel, pulzusszámmal és a BMI index-szel;
5. kitűnő összefüggéseket kaptunk az erőt jellemző paraméterek interkorrelációjában;
6. az állóképességet reprezentáló paraméterek vizsgálata a várt eredményeket hozta. Az összefüggések közül kiemelésre méltó az állóképesség szoros összefüggése az erővel és a gyorsasággal a jelen vizsgálat során;
7. a mért paraméterek – különös tekintettel a kondicionális-koordinációs képességekre – közötti nagyszámú, szignifikancia szintjüket tekintve jelentős összefüggések arra engednek következtetni, hogy az életkor előrehaladtával egyre mélyebb és szorosabb lesz az összefüggés az általános egészségi állapot, a képességek színvonala és a teljesítményszint között;
8. a statisztikai mutatók a paraméterek zömében – kivéve az erőt jellemző paramétereket – normális eloszlású, tömör mintát reprezentálnak. A transzformáció igénye nem merült fel;
9. az alkat vizsgálatoknál megállapíthatjuk, hogy a vizsgálati személyek átlagos testalkattal rendelkeztek, amelynek a szóródása eltolódik a testmagasságnál az alacsonyabb, testtömegnél az átlagnál súlyosabb régiók felé. Az átlagosnak ítélt arányokat nagymértékben lerontja a túlsúlyosok magas százalékos aránya, amely egyértelműen az egészséges életmód és a rendszeres fizikai aktivitás hiányaira vezethető vissza;
10. az antropometriai mutatókkal analóg módon a keringési rendszert jellemző mutatók is azt támasztják alá, hogy a vizsgálati csoportokba beosztottak jelentős része az edzetlenekre jellemző értékeket produkálták. A mért paraméterek azt bizonyítják, hogy a kísérleti személyek 19%-a emelkedett nyugalmi pulzussal és magas vérnyomással rendelkezik;
11. az állóképesség színvonala összességében a Cooper-teszt szerint elfogadható értéket mutat. Ellenben a teszt értékelésekor figyelembe kell venni, hogy az az átlagember aspektusából minősíti a teljesítményt. a vizsgálati csoportokat alkotó személyekkel szemben viszont az átlagost jóval meghaladó képességszint várható el. Ebből a nézőpontból kiindulva a produkált teljesítményt igen gyenge kategóriába kell sorolni;
12. a 10X5 méteres ingafutás eredményein érződött az a szakirodalmi tendencia, hogy a koordinációs képességek közül a gyorsaság a legkevésbé fejleszhető és leginkább korfüggő;
13. az eredmények számítógépes vizsgálata, a tények elemzése bizonyította, hogy az adatok zömében a normális eloszlási görbét mutatják;
14. a felmérő, elemző és az értékelő munka eleget tett az objektivitás, a validitás és a reliabilitás tudományos követelményeinek. a tények igazolták a mintavétel helyességét;
15. a kapott eredmények, a sokoldalú elemző munka bizonyította a kiválasztott paraméterek racionalitását.

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] NÁDORI LÁSZLÓ: Edzéselmélete és módszertana Magyar Testnevelési Egyetem Budapest, 1991.
- [4] BAKOS FERENC. (1989): Idegen szavak és kifejezések szótára. Akadémiai Kiadó. Budapest. 955 p.
- [5] BAUR, J.-BÖS, K.-SINGER, R: Motorische Entwicklung. Ein Handbuch. Verlag Hofmann. Schorndorf. 1994. 421 p.
- [6] HEPP FERENC : A mozgásérzékelés kísérleti vizsgálata. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1973.
- [7] KNAPP, B.: A mozgástanulás alapkérdései. MTS OT. Budapest.1968. 192 p.
- [8] KNEBEL, K-P.: Funktioningimnastik. Rowohlt Taschenbuch Verlag. Reinbeck bei Hamburg 1985. 206 p.
- [9] KOLTAI JENŐ-NÁDORI LÁSZLÓ: Ügyesség (koordinációs képességek). In: Sportképességek edzése. Sport. Budapest, 1983. p.139-156.
- [10] NÁDORI LÁSZLÓ: Az érzékszervek szerepe a mozgáskoordinációs folyamatokban. In: Lissák K.- Nemessúry M. (szerk.): Az emberi mozgás automatikája. TTT. Budapest, 1972. p. 103-133.
- [11] DUNAI PÁL: „Alkalmassági követelmények meghatározásának modelljei, a fizikai teljesítmény mérésének módszerei, teljesítményprognosztizálás lehetőségei” – Repüléstudományi Közlemények – XII. évfolyam 30. szám, ZMNE Repülőtiszt Intézet Szolnok, 2000.
- [12] ÁNGYÁN LAJOS Az emberi test mozgástana Motio Kiadó, Pécs 2005. ISBN 963 85718 6 1
- [13] NÁDORI LÁSZLÓ Sportképességek mérése – Sport kiadó, Budapest, 1989 ISBN 963 253 831 5
- [14] EUROFIT A fizikai fitness mérése európai tesztje, Magyar testnevelési Egyetem Budapest, 1993. ISBN 963 7166 30 0
- [15] DUDÁS ZOLTÁN A humán tényezők és a CRM elvek jelentősége a távirányítású pilótanélküli légitársaságok műveleteiben, Repüléstudományi Konferencia 2012 című konferencia kiadványa 2013. április 11. 314. oldal
- [16] NÁDORI LÁSZLÓ: A mozgáskoordináció információforrásai. TF Tudományos közlemények, 1972. 2/3.
- [17] SZABÓ SÁNDOR ANDRÁS UAV (pilóta nélküli légitársaság) műveletek humán tényezőinek elemzése repülésbiztonsági szempontból Repüléstudományi Közlemények XXV. Évfolyam 2013. 3. szám 482-497. oldal
- [18] SZABÓ SÁNDOR ANDRÁS – HORNYIK JÓZSEF UAV (pilóta nélküli légitársaság) műveletek repülésbiztonsági feltételrendszerének biztosítása, Repüléstudományi Közlemények XXV. Évfolyam 2013. 1. szám 61-77. oldal
- [19] DUNAI PÁL UAV kezelőszemélyzet kiválogatásának bemeneti fizikai követelményei, Repüléstudományi Közlemények XXV. Évfolyam 2. szám 2013/2 498-503. oldal

Foroozan Zare¹ – Árpád Veress²

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF AN IMPROVED THERMO DYNAMICAL MODEL FOR SINGLE SPOOL JET ENGINES³⁴

The main goal of the present research is to develop and verify an improved mathematical model for the thermo dynamical analyses of single spool jet engines with and without afterburner at start position. The specific points of the thermo-dynamical cycles and the main characteristics of the engines are determined by a concentrated parameter-distribution type method, which is implemented in MATLAB environment. The governing equations are based on the mass, the energy balance and the real thermo dynamical processes, in which the mechanical, isentropic and burning efficiencies, pressure losses and power reduction rate of the auxiliary systems are considered. Nonlinear constraint optimization is used for parameter sensitivity analyses and to fit the unknown parameters for the available data as thrust and thrust specific fuel consumption. Material properties, ambient conditions, incoming air mass flow rate, pressure ratio of the compressor, turbine inlet total temperature and the length and diameter of the engines are imposed as input parameters for the analyses. The temperature and component mass fraction dependent gas properties are determined by iteration cycles. Among the results of the analyses, the thrust and thrust specific fuel consumption are compared to available operational data of the БД-7, КР7-300 (w/o afterburner) and ПД-9Б (w/ afterburner) engines. The corner points of the thermo-dynamical cycles are plotted in T-s diagrams for the БД-7 and ПД-9Б engines.

EGYFORGÓRÉSSES SUGÁRHAJTÓMŰ TERMODINAMIKAI MODELLJÉNEK TOVÁBBFEJLESZTÉSE ÉS VERIFIKÁCIÓJA

A jelen kutatás célja egy olyan matematikai modell kidolgozása és a számítási eredmények verifikálása, amely az egyszerűsített közelítéshez képest pontosabb eredményt szolgáltat az egytengelyes sugárhajtóművek termodinamikai viselkedésének leírására utánégetéssel és utánégetés nélküli esetekben. A számításokat starthelyzetben végeztük el. A sűrűlódásos áramlás figyelembevétele érdekében egy koncentrált paraméter-eloszlású számítási eljárást dolgoztunk ki. A módszert MATLAB környezetben implementáltuk. A tömeg- és energia-megmaradás egyenletei mellett a termodinamikai folyamatok alapegyenletei a rendszer mechanikai hatásfokát, a kompresszor és a turbina izentropikus hatásfokát, a tüzelési hatásfokot, a nyomásvesztés tényezőket és a kiegészítő berendezések teljesítményfelvétel-hányadát is figyelembe vesszük. Nemlineáris korlátos optimalizációs eljárást alkalmaztunk az ismeretlen paraméterek tolóerőre és a tolóerőre vonatkoztatott fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásra hangolása érdekében. A folyamatokban résztvevő anyagok tulajdonságai és a szükséges geometriai méretek mellett a kompresszor torlóponthoz tartozó nyomásviszonyát, a turbina belépő torlóponthoz tartozó hőmérsékletét, a hajtóműbe belépő levegő tömegáramát és a hajtómű kilépő keresztmetszetének átmérőjét írjuk elő bemeneti peremfeltételként a rendelkezésre álló szakirodalmi adatok alapján. Az állandó nyomáson vett fájthő és az

¹ Foroozan Zare, PhD student, BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles, fzare@vrht.bme.hu

² Dr. Árpád Veress, associate professor, BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles, averess@vrht.bme.hu

³ Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László, egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@bkgk.uni-obuda.hu

⁴ Lektorálta: Prof. Dr. Szabolcsi Róbert ezredes, főtitisz, HVK Személyzeti Csoportfőnökség, szabolcsi.robort65@gmail.com



adiabatikus kitévő meghatározása esetén iteráció segítségével vettük figyelembe az egyes komponensek tömegarányát és a közeg hőmérsékletét. Az analízis során kialakult fajlagos tolóerőt és a tolóerőre vonatkoztatott fajlagos tüzelőanyag-fogyasztást hasonlítottuk össze a rendelkezésre álló adatokkal a BД-7 és KP7-300 típusú utánégetés nélküli, illetve PД-9B típusú utánégetéses hajtóművek esetén. A számítás eredményeként kialakult termodinamikai körfolyamatot T-s diagramban ábrázoltuk BД-7 és PД-9B hajtóművek esetén.

NOMENCLATURE

A_9	Outlet area of the engine [m ²]
C_f	Specific heat of the fuel (combustion chamber) [J/kg/K]
$C_{f,A}$	Specific heat of the fuel (afterburner) [J/kg/K]
$C_{p,mix}$	Specific heat of air and gas mixture at const. pressure, at given T temperature and fuel to air ratio [J/kg/K]
$\bar{C}_{p,mix}$	Mean (between T_i and T_{i+1}) spec. heat of air and gas mixture at const. pressure and at given fuel to air ratio [J/kg/K]
D	Diameter of the engine [m]
f	Fuel to air ratio in the combustion chamber [-]
f_A	Fuel to air ratio in the afterburner [-]
L	Length of the engine [m]
L_0	Theoretical air mass required to burn 1 kg fuel at stoichiometry
\dot{m}_{air}	Incoming air mass flow rate of engine [kg/s]
$\dot{m}_{air,st}$	Air mass flow rate at stoichiometry in comb. chamber. [kg/s]
$\dot{m}_{air,st,A}$	Air mass flow rate at stoichiometry in afterburner [kg/s]
\dot{m}_f	Mass flow rate of fuel in the combustion chamber [kg/s]
$\dot{m}_{f,A}$	Mass flow rate of fuel in the afterburner [kg/s]
\dot{m}_{tech}	Bleed air mass flow rate due to the technological reason [kg/s]
\dot{m}_{4-5}	Mass flow rate in the turbine [kg/s]
\dot{m}_9	Mass flow rate at the exhaust of the engine [kg/s]
M	Mach number [-]
p	Pressure [Pa]
p_0	Ambient static pressure [Pa]
p_9	Static pressure at the exhaust of the engine [Pa]
p_c	Critical static pressure [Pa]
Q_R	Lower heating value of the fuel [MJ/kg]
Q_{RA}	Lower heating value of the fuel in the afterburner [MJ/kg]
R	Specific gas constant [J/kg/K]
r_{cc}	Total pressure loss coefficient in the combustion chamber [-]
r_d	Total pressure loss coefficient in the intake duct (diffuser) [-]
r_{td}	Total pressure loss coefficient in the afterburner liner [-]
T	Temperature [K], thrust [kN]



TSFC	Thrust Specific Fuel Consumption [kg/(kN h)]
T_0	Ambient temperature [K]
T_{of}	Temperature of the fuel at the combustion chamber [K]
$T_{of,A}$	Temperature of the fuel at the afterburner [K]
V_{el0}	Flight speed [m/s]
V_{el9}	Velocity at the exit of the exhaust nozzle [m/s]
γ_{mix}	Ratio of specific heats at given temperature for gas mixture [-]
$\bar{\gamma}_{mix}$	Ratio of mean specific heats for gas mixture [-]
δ_{tech}	Bleed air ratio for technological reasons [-]
$\delta_{blade_cooling}$	Air income ratio due to the turbine blade cooling [-]
ζ	Power reduction rate for the auxiliary systems [-]
η_b	Burning efficiency [-]
η_C	Isentropic efficiency of the compressor [-]
η_T	Isentropic efficiency of the turbine [-]
η_m	Mechanical efficiency [-]
η_n	Nozzle isentropic efficiency [-]
π_C	Total pressure ratio of the compressor [-]

INTRODUCTION

Nowadays, the most of the leading technologies are established in the aeronautical sector, wide spectrum of research and developments are in progress in that areas [10][11], and the innovation-transfer into the other industrial parties are clearly observed. This is especially true for the propulsion systems of the aircrafts. Beside the aeronautical applications, the gas turbines are generally used as energy sources in the other contributions of transportation and the energy, oil and gas sectors of the industry. These types of engines have high power-density ratio ($\sim 20\text{--}30$ HP/kg) compared to piston engines ($\sim 1\text{--}2$ HP/kg) [9]. The gas turbines are relatively light-weight structures and have compact sizes, which makes their installation cost efficient. These engines are less sensitive for the overloads, they have less solid cross sectional area against the flow and have less vibration due to the well balanceable and rather axisymmetric rotating components. The gas turbines have high availability (97%) and reliability ($> 99\%$), they have low emission (there is no lubricant in the combustion chamber and no soot during transient loads) they contain less moving parts and represent less sensitivity for the quality of the fuel compared to the piston engines. Additionally, there is no need for liquid-based cooling system, but the maximum allowable temperature (~ 1500 °C) at the turbine inlet section must be limited due to the metallurgical reasons [9].

Beside the technical characteristics of the gas turbines today, certain amounts of potentials are available for improving their efficiencies, performances and emissions over the wider range of operational conditions [12][13]. Although the experiences and the know-how of the gas turbine manufacturers increasing continuously, the different mathematical models with using of optimum choice and form of



the most dominant processes can significantly contribute to decrease the cost, time and capacity in the early phase of gas turbine design and developments. There are many scientific publications are subjected to the thermodynamic-based simulation approaches, which confirms also the need for creating more and more accurate calculation methods. Rahnan and others [1] presented analytical cycle analyses for gas turbine engine with simple and regenerative operational mode with parameter sensitivity analyses. Silva and his co-workers [2] published an evolutionary approach as the optimization framework to design for optimal performance in terms of minimizing fuel consumption while maintaining nominal thrust output, maximizing thrust for the same fuel consumption and minimizing turbine blade temperature. Yarlagadda [3] focused on performance analysis of the J85 turbojet engine with an inlet flow control mechanism to increase RPM (and pressure ratio) for higher efficiency and the same thrust values by using 1-D non-linear unsteady equations.

In the present paper, the thermo-dynamical cycles of single spool turbojet engines are analysed by developing and applying a concentrated parameter distribution-type method. The computational procedure used in the analytical model relies on the mass and energy balance with frictional and polytropic thermo dynamical processes. The constrained nonlinear optimisation is used for parameter sensitivity analyses and for determining the unknown parameters as efficiencies, losses, power reduction rates of the auxiliary systems, bleed air ratios for technological reasons, air income ratios due to blade cooling and total temperature at the afterburner (in case of need) by means of having parameter-state, which provides the closest results to the available thrust and thrust and thrust specific fuel consumption of single spool turbojet engines in start condition. The temperature and component mass fraction dependent gas properties as specific heat at constant pressure and ratio of specific heats are determined by iteration cycles. The results of the simulations are compared to the available operational data, which are found in [6].

The Novell Computational model

General Aspects

Commonly valid items are discussed in the present part of the model description.

ISA (International Standard Atmosphere) is applied for determining ambient parameters as pressure and temperature at static sea level condition in this case:

- Ambient pressure: $p = p_0 = 101325 \text{ Pa}$
- Ambient temperature: $T = T_0 = 288 \text{ K}$
- Mach number: $M = 0$

There are initially given parameters in the available specification of the investigated engines [6] as incoming air mass flow rate, pressure ratio of the compressor, turbine inlet total temperature and the length and the diameter of the engine, which are imposed as input parameters of the analyses, meanwhile there are many others as efficiencies (mechanical, isentropic of compressor and turbine, burning and exhaust nozzle), losses (pressure loss of inlet diffuser, combustion chamber and

afterburner or turbine exhaust pipe), power reduction rates of the auxiliary systems, bleed air ratios for technological reasons, air income ratios due to blade cooling and total temperature at the afterburner (if it is the case), which are not available. The strategy of the present work is to use the available parameters as inputs together with material properties, ambient pressure and temperature, meanwhile the unknown parameters are identified by constrained optimization to recover the thrust and thrust specific fuel consumption, which are also given in the specification [6].

Beside the constant material properties as specific gas constant, the specific heat at constant pressure and the ratio of the specific heats at constant pressure and volume are determined by considering the temperature (T) and fuel to air ratio (f or f_A). These parameters are changed at each cross sections of the engine depends on the local thermal and mass fraction conditions. (1)–(3) shows the expressions how they are determined depends on the mean value through the certain process (2, 3) or stand alone value (real specific heat) at given temperature and fuel mass fraction in the certain cross section of the engine (2, 3). Iteration processes are used if the temperatures or mass fractions are the functions of the unknown parameters in order to find the equilibrium between the temperature dependent material properties and thermo dynamical variable.

$$\bar{C}_{\text{pmix}}(T_i, T_{i+1}, f \text{ or } f_A) = \frac{1000 \sum_{j=0}^n \frac{a_j + f \text{ or } f_A c_j}{(j+1)(f \text{ or } f_A + 1)} \left[\left(\frac{T_{i+1}}{1000} \right)^{j+1} - \left(\frac{T_i}{1000} \right)^{j+1} \right]}{T_{i+1} - T_i} \quad (1)$$

$$C_{\text{pmix}}(T, f \text{ or } f_A) = \sum_{j=0}^n \frac{a_j + f \text{ or } f_A c_j}{f \text{ or } f_A + 1} \left(\frac{T}{1000} \right)^j \quad (2)$$

$$\bar{\gamma}_{\text{mix}} = \frac{\bar{C}_{\text{pmix}}(T_i, T_{i+1}, f \text{ or } f_A)}{\bar{C}_{\text{pmix}}(T_i, T_{i+1}, f \text{ or } f_A) - R} \quad \text{or} \quad \gamma_{\text{mix}} = \frac{C_{\text{pmix}}(T, f \text{ or } f_A)}{C_{\text{pmix}}(T, f \text{ or } f_A) - R} \quad (3)$$

The a_j and c_j are the polynomial constants for air and kerosene fuel according to [4]. Table 1 contains the values of the polynomial constants of gases.

a_j	Value	c_j	Value
a_0	1043.797	c_0	614.786
a_1	-330.6087	c_1	6787.993
a_2	666.7593	c_2	-10128.91
a_3	233.4525	c_3	9375.566
a_4	-1055.395	c_4	-4010.937
a_5	819.7499	c_5	257.6096
a_6	-270.54	c_6	310.53
a_7	33.60668	c_7	-67.426468

Table 1. Polynomial constants used for computing the material properties of gases [4]

Thermo-dynamical model of the single-spool turbojet engine

A meridian cross section of a typical single spool turbojet engine with afterburner is shown in Figure 1. The ambient air from stage 0 enters into the engine at cross section 1 and passes through the inlet diffuser till the cross section 2. Then the flow enters into the compressor. Here, between cross sections 2–3, the air is compressed. The next part of the engine is the combustion chamber, where the fuel is injected and the heat-generation is realised between the stages 3–4. The products of the combustion are cooled down by the secondary flows before entering into the turbine across the section 4. The gas is expanded within the turbine, which provides power for the compressor. The gas stream leaves the turbine across the stage 5 and, if it is the case, goes through the afterburner, at which significant amount of heat is generated also to increase the exhaust speed and so the thrust. Then the expanded gases enter into the exhaust nozzle across the section 7 and producing thrust after leaving the engine at stage 9.

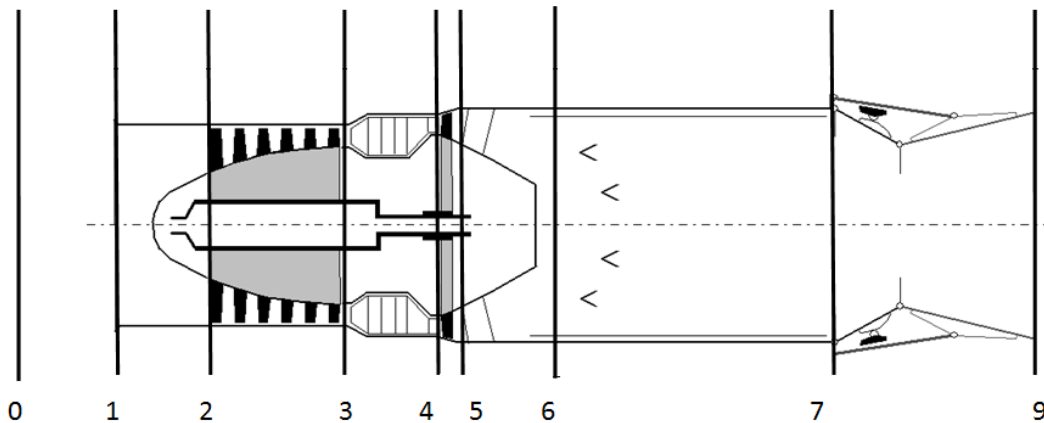


Figure 1. Layout of the single spool turbojet engine with afterburner [8]

Regarding to most general aspects, the first step of the analysis is to determine the total temperature and pressure at the intake, by using equations (4, 5 and 6) [7].

$$T_{02} = T_{01} = T_0 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right) \quad (4)$$

$$p_{01} = p_0 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (5)$$

The total pressure at compressor intake is determined by the total pressure recovery factor of the intake:

$$p_{02} = p_{01} r_d \quad (6)$$

The total pressure at outlet of the compressor is calculated by the given total pressure ratio of the compressor as follows:

$$p_{03} = \pi_c p_{02} \quad (7)$$



The total temperature at the outlet of compressor is determined by using the isentropic efficiency of the compressor (8). Iteration cycle is used at this stage due to the fact that the specific heat at constant pressure is also depends on the total temperature at this process.

$$T_{03} = T_{02} + \frac{\bar{c}_{p\text{mix}}(T_{02}, T_{03s}, f)(T_{03s} - T_{02})}{\bar{c}_{p\text{mix}}(T_{02}, T_{03}, f)\eta_c} \quad (8)$$

The mass flow rate of the fuel can be computed by the total enthalpy balance of the combustion chamber (9) by taking into account that the maximum turbine inlet total temperature is given. Equation (9) contains five terms as 1: the stagnation enthalpy of the incoming pure air into the combustion chamber, 2: the stagnation enthalpy of the fuel, 3: heat generation by the combustion, 4: stagnation enthalpy of the hot gas at the stoichiometric burning, which leaves the combustion chamber, 5: stagnation enthalpy of the pure air, which is available at the outlet section of the combustion chamber.

$$\underbrace{\dot{m}_{\text{air}}(1 - \delta_{\text{tech}})C_{p\text{mix}}(T_{03}, f = 0)T_{03}}_1 + \underbrace{\dot{m}_f C_f T_{0f}}_2 + \underbrace{\eta_b Q_R \dot{m}_f}_3 = \underbrace{(\dot{m}_{\text{air},st} + \dot{m}_f)C_{p\text{mix}}(T_{04}, f)T_{04}}_4 + \underbrace{(\dot{m}_{\text{air}}(1 - \delta_{\text{tech}}) - \dot{m}_{\text{air},st})C_{p\text{mix}}(T_{04}, f)T_{04}}_5 \quad (9)$$

Behind the compressor, the mass flow rate of the air removal is considered due to the technological reason ($\delta_{\text{tech}} = \dot{m}_{\text{tech}} / \dot{m}_{\text{air}}$). Kerosene with lower heating value $Q_R = 42 \text{ MJ/kg}$ is used. $\dot{m}_{\text{air},st}$ is the mass flow rate of the air, which involved in the burning at stoichiometric condition, and which is determined by equation (10) ($L_0 = 14.72 \text{ kg/kg}$).

$$\dot{m}_{\text{air},st} = \dot{m}_f L_0 \quad (10)$$

$$f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_{\text{air}}(1 - \delta_{\text{tech}})} \quad (11)$$

Iteration cycle is used at that section also to consider the variation of fuel to air ratio in the specific heat at constant pressure.

After applying the energy balance in the combustion chamber, the power equilibrium of the compressor and the turbine is applied to determine the total temperature at the outlet section of the turbine (T_{05}):

$$\dot{m}_{\text{air}} \bar{c}_{p\text{mix}}(T_{02}, T_{03}, f = 0)(T_{03} - T_{02}) = \eta_m \dot{m}_{4-5} (1 - \zeta) \bar{c}_{p\text{mix}}(T_{04}, T_{05}, f)(T_{04} - T_{05}) \quad (12)$$

The \dot{m}_{4-5} is the mass flow rate in the turbine ($\dot{m}_{4-5} = \dot{m}_{\text{air}}(1 - \delta_{\text{tech}})(1 + f)(1 + \delta_{\text{blade_cooling}})$), in which the cooling mass flow rate of air is considered to prevent the turbine blades from the thermal loading of the high temperature gases. The cooling air is generally a part of the bleed air extracted from the compressed air close to the outlet section of the compressor.



The engine section 5-6 (see Figure 1.) is not considered (or distinguished) in the present case. It should be mentioned that the pressure loss develops at that region is included in the next section as 6-7, which approximation has a negligible effect for the output of the analyses.

If it is the case, the afterburner locates between the cross sections of 6 and 7 (see Figure 1). Total enthalpy balance has been applied for this segment in order to determine the fuel mass flow rate enters into afterburner ($\dot{m}_{f,A}$). The maximum allowable temperature (T_{07}) is obtained by a constrained nonlinear optimization procedure together with other unknown parameters as losses and efficiencies for example. The left hand side of equation (13) represents the incoming energy to system and the right hand side of it shows the leaving ones. The first term of equation (13) is the stagnation enthalpy of pure air, which is available at section 6, and, $\dot{m}_{6,air} = \dot{m}_{5,air} = \dot{m}_{air}(1 - \delta_{tech})(1 + \delta_{blade_cooling})$. The second and third term is the total enthalpy of the fuel entering into afterburner and heat generated by the combustion respectively. The last term in the left hand side is the total enthalpy of the incoming hot gases, which are already burnt previously in the combustion chamber. The first two terms in the right hand side of equation (13) represents the total enthalpy of the hot gases of the combustion chamber and the afterburner, meanwhile the last term is the total enthalpy of the pure air, which leaves the system.

$$(\dot{m}_{6,air} - \dot{m}_{air,st}) C_{p,mix}(T_{06}, f = 0)T_{06} + \dot{m}_{f,A} C_{f,A} T_{0f,A} + \eta_{b,A} Q_{R,A} \dot{m}_{f,A} + (\dot{m}_{air,st} + \dot{m}_f) C_{p,mix}(T_{06}, f)T_{06} = (\dot{m}_{air,st} + \dot{m}_f) C_{p,mix}(T_{07}, f)T_{07} + (\dot{m}_{air,st,A} + \dot{m}_{f,A}) C_{p,mix}(T_{07}, f_A)T_{07} + (\dot{m}_6 - \dot{m}_{air,st} - \dot{m}_{air,st,A}) C_{p,air}(T_{07}, f = 0)T_{07} \quad (13)$$

Iteration cycle is used at that section also to consider the dependences of the afterburner fuel to air ratio in the specific heat at constant pressure ($f_A = \dot{m}_{f,A}/\dot{m}_{6,air}$).

The total temperatures at the inlet section of the nozzle will be equal with the total temperature at the exit of the turbine in case of engines without afterburner.

The total pressure at the inlet section of the exhaust nozzle is determined by the function of the turbine outlet total pressure and the total pressure loss coefficient of the afterburner liner or turbine exhaust pipe:

$$p_{07} = p_{05} \Gamma_{td} \quad (14)$$

Expansion process develops in the exhaust nozzle, which is shown in Figure 2. By having the inlet conditions of the nozzle (p_{07}, T_{07}) and its isentropic efficiency, it can be determine whether the converging nozzle is choked or unchoked one. After having this information, the pressure, the temperature and the velocity at the exit of the exhaust nozzle can be calculated. If the ambient pressure is higher than the critical pressure, than the nozzle flow is unchoked one, therefore the exhaust pressure of the exit is equal to the ambient pressure. At other case, at which the critical pressure is higher than the ambient pressure, the nozzle flow is choked, and then the exhaust pressure of the nozzle is equal to the critical pressure p_c .

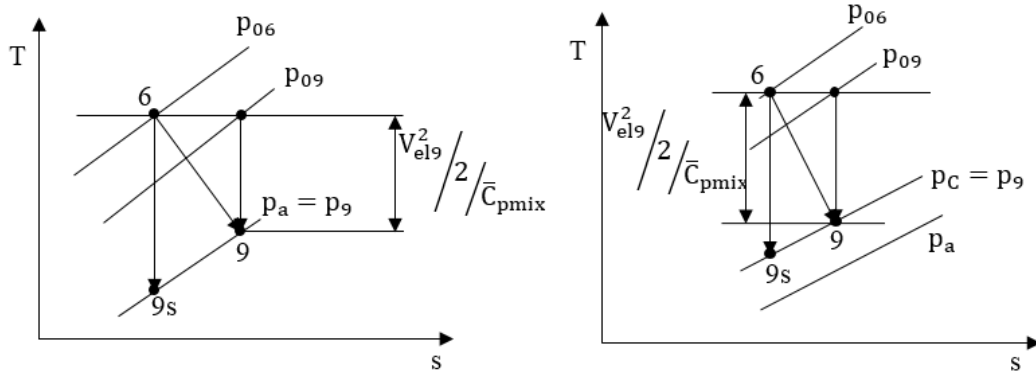


Figure 2. Nozzle flow with losses for unchoked (left hand side) and for choked (right hand side) flow conditions

New analytical equation has been derived for determining the critical pressure at the exhaust of the nozzle, in which beside the dependences of temperature variation and fuel to air ratio in the specific heat at constant pressure, the ratio of the specific heats is also considered. The critical static pressure at the outlet section of the exhaust system is coupled with the total and static temperatures, hence iteration cycles are used to determine the corresponding critical pressure and belonging total and static temperatures, which satisfy equation (15) and provides thermo dynamical parameters in case of choked conditions. The fuel to air ratio of the afterburner is also included in f in case of engine with afterburner: $f = (\dot{m}_f + \dot{m}_{fA}) / (\dot{m}_{6,air} - \dot{m}_{air,st} - \dot{m}_{air,st,A})$.

$$p_c = p_{07} \left[1 - \frac{1}{\eta_n} \left(1 - \frac{2\bar{c}_{pmix}(T_{09}, T_9, f)}{2\bar{c}_{pmix}(T_{09}, T_9, f) + \gamma_{mix} R} \right) \frac{\bar{c}_{pmix}(T_{09}, T_9, f)}{\bar{c}_{pmix}(T_{09}, T_{9s}, f)} \right]^{\frac{\bar{\gamma}_{mix}}{\bar{\gamma}_{mix} - 1}} \quad (15)$$

The ratio of specific heats (16) and (17) are used in equation (15).

$$\bar{\gamma}_{mix} = \frac{\bar{c}_{pmix}(T_{09}, T_{9s}, f)}{\bar{c}_{pmix}(T_{09}, T_{9s}, f) - R} \quad (16)$$

$$\gamma_{mix} = \frac{c_{pmix}(T_9, f)}{c_{pmix}(T_9, f) - R} \quad (17)$$

Output parameters of the simulations

The thrust and thrust specific fuel consumption are the two output parameters of the analyses, which are available in the open literature, they are the goal functions of the constrained optimisation in case of parameter fitting, and so they can be used for the model verification.

The thrust can be expressed as follows:

$$T = \left[\left(\dot{m}_{air} (1 - \delta_{tech}) (1 + \delta_{blade_cooling}) (1 + f + f_A) \right) V_{el9} - \dot{m}_{air} V_{el0} \right] + A_9 (p_9 - p_0) \quad (18)$$

The thrust specific fuel consumption is defined as the total mass flow rate of the fuel (including the mass flow rate of the afterburner, in case of engines with afterburner) divided by the thrust (19).



$$\text{TSFC} = \frac{\dot{m}_f + \dot{m}_{fA}}{T} \quad (19)$$

RESULTS AND DISCUSSION

Three gas turbines have been selected for the analyses and for the verification of the simulation method as BД-7, PД-9Б and KP7-300 turbojet engines. The available specifications of these gas turbines are found in [6]. The input data of the simulation are the incoming air mass flow rate to the engine, pressure ratio of the compressor, turbine inlet total temperature and the length and the diameter of the engine beside with material properties, ambient pressure and temperature (see Table 2). Unfortunately, there are many other parameters as efficiencies (mechanical, isentropic of compressor and turbine, burning and exhaust nozzle), losses (pressure loss of inlet diffuser, combustion chamber and afterburner or turbine exhaust pipe), power reduction rates of the auxiliary systems, bleed air ratios for technological reasons, air income ratios due to blade cooling and total temperature of the afterburner (if it is the case), which are not available. Hence, constrained nonlinear optimisation is used for determining these unknowns to find such a parameter-state, which provides the closest results to the available thrust and thrust specific fuel consumption for the engines. The results of the optimization are found in Table 3. The parameters are in the reasonable range, so they can be accepted.

Type of turbojet engines	Input data, which are used in the simulations (start positions)				Available data (start positions)	
	T_{04} (K)	π_K^{to}	\dot{m}_{air} (kg.s ⁻¹)	$\frac{L}{D}$ (m/m)	T (kN)	TSFC (Kg. kN ⁻¹ h ⁻¹)
single spool engine (BД-7)	1090	11.2	187	4.25/1.29	107.8	82
single spool engine (PД-9Б) with afterburner	1150	7.5	43.3	5.56/1.66	32.4	163
single spool engine (KP7-300)	1330	4.5	35.5	2.01/1.64	21.1	132

Table 2. Operational data of the BД-7, PД-9Б and KP7-300 turbojet engines [6]

Type of turbojet engines	Efficiencies, losses power reduction rates of the auxiliary systems, bleed air ratios for technological reasons, air income ratio due to blade cooling and total temperature at the afterburner											
	r_d	r_{cc}	r_{td}	η_{izc}	η_{izT1}	η_{m1}	η_b	η_n	ξ	δ_{tech}	δ_{bc}	T_{07} (K)
single spool engine (BД-7)	.96	.94	.98	.85	.85	.98	.98	.98	.009	.15	.15	-
single spool engine with afterburner (PД-9Б)	.95	.95	.95	.85	.89	.98	.98	.96	.005	.15	.15	1870
single spool engine (KP7-300)	.94	.92	.98	.85	.85	.98	.99	.98	.01	.18	.12	-

Table 3. Identified parameters of the 3 investigated turbojet engines

Considering the available data, only the thrust (T.) and thrust specific fuel consumption (TSFC) are used directly to check how far the calculated results of the analyses from the data available in



the specifications. These data are presented in Table 4 and show remarkable agreement with each other. Although the relative deviations between the computed and available parameters are less than 2.8 % and so the accuracy of the developed concentrated parameter-distribution type method is acceptable, further investigation - as the extension of the model for dual spool and bypass engines - with additional verifications and validations are needed.

Type of turbojet engines	Available data for the verification (start position)		Results of the simulations (start position)		Relative errors	
	T (kN)	TSFC(kg. kN ⁻¹ h ⁻¹)	T(kN)	TSFC(Kg. kN ⁻¹ h ⁻¹)	T	TSFC
single spool engine (ВД-7)	107.8	82	109	81.7	0.74%	0.3%
single spool engine (РД-9Б) with afterburner	32.4	163	32.4	162.94	0 %	0.03%
single spool engine (КР7-300)	21.1	132	21.7	132.7	2.8%	0.5%

Table 4. Comparisons of available data with the results of simulations

The real thermo dynamical cycles of the ВД-7 turbojet engine without afterburner and РД-9Б turbojet engine with afterburner are calculated and plotted in T-s diagrams (see Figures 3. and 4. respectively).

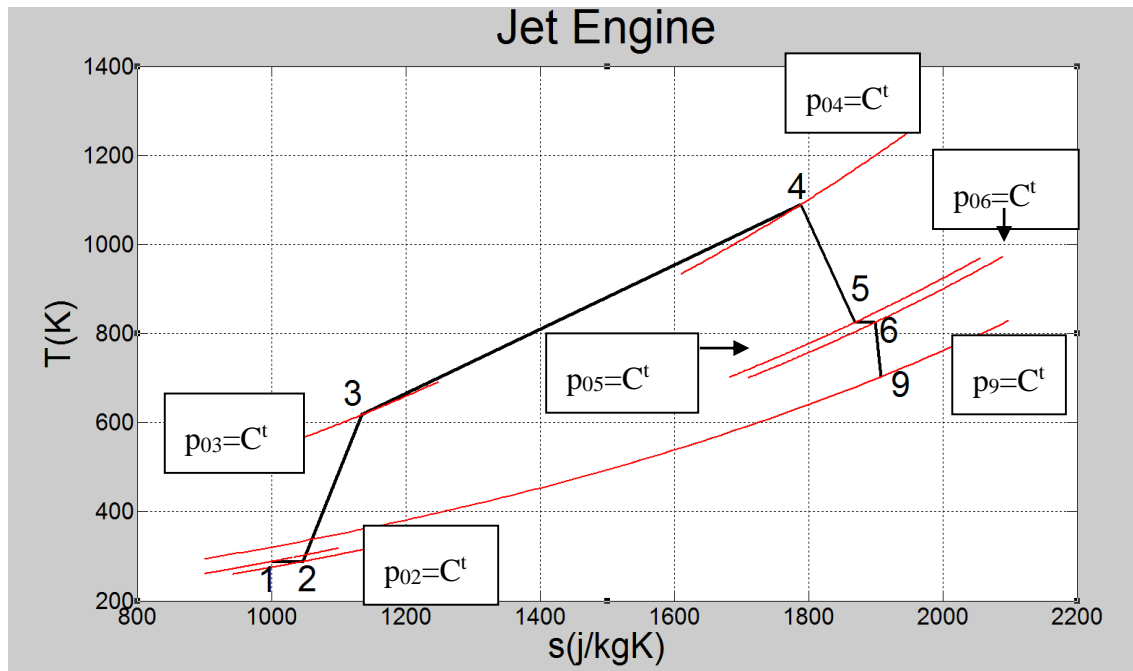


Figure 3. T-s diagram of the ВД-7 turbojet engine without afterburner

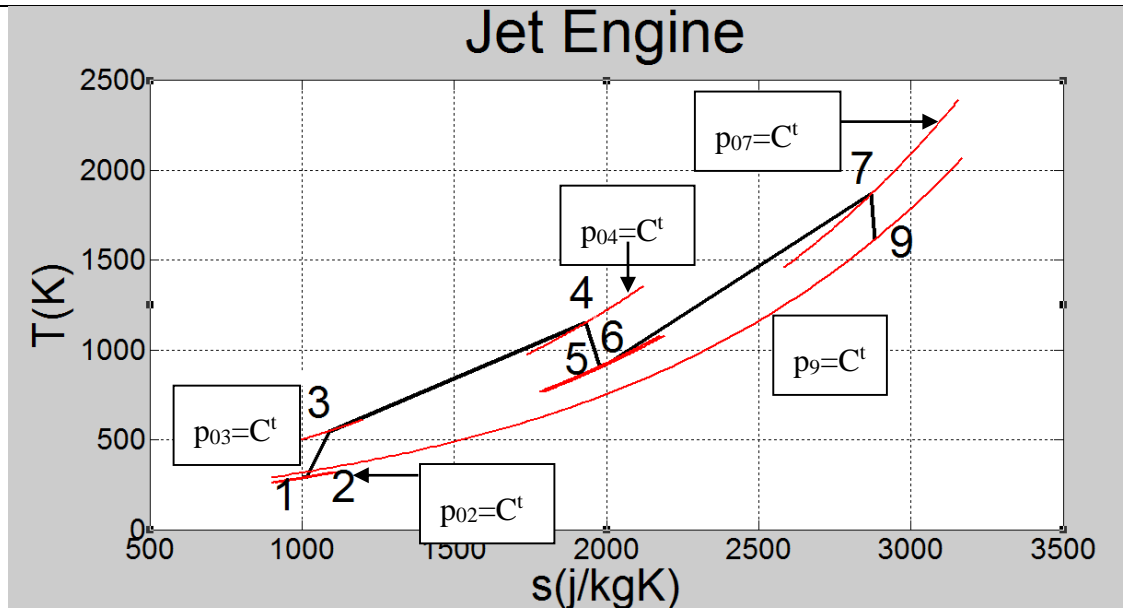


Figure 4. T-s diagram of the PD-9B turbojet engine with afterburner

CONCLUSIONS

An improved mathematical model has been developed for the thermo dynamical analysis of the single spool jet engines with and without afterburner at start position. The specific points of the thermo-dynamical cycles and the main characteristics of the engines are determined by a concentrated parameter-distribution type method, which is implemented in MATLAB environment. The governing equations are based on the mass, the energy balance and the real thermo dynamical processes, in which the mechanical, isentropic and burning efficiencies, pressure losses and power reduction rate of the auxiliary systems are considered. Nonlinear constraint optimization is used for parameter sensitivity analyses and to fit the unknown parameters for the available data as thrust and thrust specific fuel consumption. Material properties, ambient conditions, incoming air mass flow rate, pressure ratio of the compressor, turbine inlet total temperature and the length and diameter of the engine are imposed as input parameters of the analyses. Concerning the material properties, the temperature and component mass fraction dependent gas properties are determined by iteration cycles. Amongst the results of the analyses, the specific thrust and thrust specific fuel consumption are compared to available operational data of the BД-7 and KP7-300 (w/o afterburner) and PD-9Б (w/ afterburner) engines. The corner points of the thermo-dynamical cycles are plotted in T-s diagrams for the BД-7 and PD-9Б engines. The verification of the simulation shows that the available and calculated thrusts and thrust specific fuel consumptions are aligned with each other and the deviation between them is less than 2.8 %. Hence, although further verifications and validations are needed, it can be concluded that the accuracy of the developed concentrated parameter-distribution type model is acceptable in engineering point of view.



References

- [1] RAHMAN, M. M. - THAMIR, K. I. and others: Thermal Analysis of Open-Cycle Regenerator Gas-Turbine Power-Plant, World Academy of Science, Engineering and Technology 44, 2010 (url: <http://www.waset.org/publications/11973>, at 05.11.2014).
- [2] SILVA, V. V. R. - KHATIB, W. - FLEMING, P. J.: Performance Optimization of Gas Turbine Engine. Artificial Intelligence, 18, pp. 575–583, 2005.
- [3] YARLAGADDA, S.: Performance Analysis of J85 Turbojet Engine Matching Thrust with Reduced Inlet Pressure to the Compressor, MS Thesis, The Mechanical, Industrial and Manufacturing Engineering Department at University of Toledo, 2010.
- [4] SÁNTA, I.: Gázturbinás Repülőgép Hajtóművek. BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, Tanszéki jegyzet (lecture notes on Jet Engines at BME University); 2008.
- [5] ZARE, F. - VERESS, Á. - BENEDA, K.: Simplified Mathematical Model for a Single Spool and no Bypass Jet Engines; 9th Conference of an aeronautical science, Szolnok, 2013 April 11.
- [6] КУЛАГИН, В. В.: Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Книга 1, 2, Moscow, 2005.
- [7] SARAVANAMUTTO, H. I. H. - ROGERS, G. F.C. - COHEN, H. - STRAZINCKY, P. V.: Gas Turbine Theory, 6th ed., Pearson Education Limited, ISBN: 978-0-13-222437-6, 2009.
- [8] KURZKE, J.: <http://www.gasturb.de/> (03.03.2014.)
- [9] BENEDA, K. - SIMONGÁTI, GY. - VERESS, Á.: Járművek hő- és áramlástechnikai berendezései I., Typotex Publishing, Budapest, 2012, ISBN 978-963-279-639-0, url: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/0018_Jarmuvek_ho-es_aramlastechnikai_berendezesei_1/adatok.html, (04.03.2014.)
- [10] GÁTI, B. - DROUIN, A.: Open Source Autopilot for Academic Research – The Paparazzi System, Proceedings of the American Control Conference, Washington DC: AACC International, pp. 1-6. ISBN: 978-1-4799-0175-3, 2013.
- [11] VOSKUILJ, M. - ROHÁCS, D. - ROHÁCS, J. - SCHOUSTTRA, R. J.: Preliminary Evaluation of the Environmental Impact related to Aircraft Take-off and Landings supported with Ground Based (MAGLEV) Power, Proceedings of the 4th Annual International Air Transport and Operations Symposium (ATOS). Toulouse, French, 10.07.2013-12.07.2013. Paper 82. 19 p.
- [12] BENEDA, K. – ROHÁCS, J.: Dynamic Model of Variable Inducer Shroud Bleed for Centrifugal Compressor Surge Suppression, International Review of Aerospace Engineering 6: (3) pp. 163-173. Paper online, 2013.
- [13] BENEDA, K.: CFD Simulation of Blade Load Distribution Control as Active Centrifugal Compressor Surge Suppression, ACTA AVIONICA 15:(25) pp. 13-20. 2013.

Reményi Ákos¹

HOGYAN TÁMOGATHATJÁK A REPÜLÉST A PROBIOTIKUMOK?²

Egy olyan - teljes testi és szellemi egészséget megkövetelő – szolgálat esetében, mint a katonai repülés, a személyzet egészségügyi alkalmasságának megőrzése a katona-egészségügy kiemelt feladata. A már kiképzett állomány bevetettségének biztosításához nemcsak a betegségek gyógyítására van szükség, hanem törekedni kell a kórképek megelőzésére is. A cikk bemutatja a manapság egyre szélesebb körben használt probiotikumokat, és a hazai- és nemzetközi irodalom kontrollált klinikai kutatásait áttekintve betekintést ad az élettani- és egyes kórképekben megismert szerepükről. Vizsgálja továbbá, hogy a probiotikumok a katonák átmeneti egészségügyi alkalmatlanságát leggyakrabban okozó infekciók kezelésében és megelőzésében felhasználhatók-e.

HOW CAN PROBIOTICS SUPPORT THE AVIATION?

In military aviation the staff has to be in perfect psychological and physical condition so thus to keep their medical eligibility is one of the most important tasks in military medicine. To guarantee the aircrew deployability we need to treat the disease, and at the same time we have to make an effort for prevention and health protection. The paper presents the nowadays more and more widely used probiotics. It gives an overview of their function in physiological and pathophysiological condition, with the summary of national and international controlled trials. In addition it analyzes if the probiotics can be used in the most common infections causing temporary disability of soldiers.

A PROBIOTIKUMOK DEFINÍCIÓJA

Megismerésük óta a mikrobákat a közvélemény egységesen betegséghordozóknak tartja, pedig ténylegesen a kórokozók aránya viszonylag alacsony. A legtöbb baktérium valójában ártalmatlan, vagy egyenesen jótékony hatású a gazdaszervezet számára. A probiotikum, mint szóösszetétel –szembeállítva az antibiotikum kifejezéssel- a görög bios (élet) szóból ered, jelentése: az életért, mely először a szakirodalomban 1965-ben került bevezetésre Lilly és Stillwell által [11]. Ma használt értelmé 1974-ből Parkertől származik [31], de pontos, napjainkban is elfogadott fogalmi meghatározása Fuller révén 1989-ben került leírásra. Ez alapján a *probiotikumok* olyan, megfelelő számban jelenlevő, élő mikroorganizmusok, melyek kedvező hatást gyakorolnak a gazdaszervezetre [8,10]. Ezeket tartalmazhatják élelmiszerek, ún. étrend kiegészítők, gyógyászati célra szánt tápszerek, vagy – a legszigorúbb minősítésnek is megfelelő- gyógyszerként is bejegyzett készítmények is.

Probiotikumokra való utalást már az Ószövetségben is találhatunk. Eszerint Ábrahám hosszú életét a savanyított tej fogyasztásának köszönhette (Teremtés Könyve 18:8). Plinius i.e. 76-ban hasmenés ellen fermentált/aludttej fogyasztását javasolta [5]. A fagocitózis leírásáért 1908-ban Nobel díjat kapott Mecsnyikov a kaukázusi pásztorok hosszú élettartama magyarázataként arra a következtetésre jutott, hogy táplálékukban a Lactobacillus tartalmú tejtermékek

¹ o. százados, adjunktus, Magyar Honvédség Egészségügyi Központ, Fül-orr-gége, Fej-nyaksebészeti Osztály, Budapest, a.remenyi@mailbox.hu

² Lektorálta: Dr. Szabó Sándor András o. alezredes, Intézetvezető főorvos helyettese, sasi19620@gmail.com

(kaukázusi kefir) csökkentik a bélben előforduló kórokozó, toxintermelő baktériumok arányát, így érve el a kedvező hatást [38]. 1917-ben Alfred Nissle német professzor olyan, első világháborúban harcoló katonákat vizsgált, akik a frontvonalon pusztító shigellózis járványokban nem betegedtek meg. A belőlük izolált és később róla elnevezett *Escherichia coli* altörzs volt az egyik első probiotikumként leírt mikroorganizmus [29]. Szintén a 20. század elején Tisser, francia gyermekgyógyász azonosította először anyatejtáplált csecsemők székletéből a később Bifidobaktériumokként besorolt probiotikus baktériumokat, és javasolta azok használatát hasmenéstől szenvedő gyermekeknek [42].

Ahhoz, hogy a probiotikumok nagyobb arányban kifejtsék jótékony hatásukat, sokszor *prebiotikumokat* is alkalmaznak. Ezek olyan, az emberi szervezet számára emészthetetlen élelmiszer-összetevők (oligoszaharidok), melyekre nem hatnak a gyomor és bélrendszer felső szakaszának emésztőenzimeit, éppen ezért változatlan formában képesek eljutni a vastagbélbe, és ott serkentik a jótékony hatású baktériumok szaporodását [8].

A probiotikumok és a prebiotikumok együttesét, vagyis olyan készítményeket, melyek alkalmazása során kettőjük előnyös hatása összegződik, *szinbiotikumoknak* nevezzük [13].

A probiotikumok előnyös tulajdonságai felismerésével párhuzamosan, az azokat tartalmazó termékek fogyasztása is emelkedik, forgalmuk Nyugat-Európában, egy 2008-as felmérés szerint meghaladta az 1,4 milliárd eurós értéket és az ágazat éves növekedése 7–8% [34].

PREBIOTIKUS HATÁSÚ MIKROORGANIZMUSOK

A legfontosabb, igazoltan probiotikus hatású baktériumok törzsek a *Lactobacillus* és *Bifidobacterium*ok közé tartoznak, de ide sorolhatók néhány, más nemzetségbe tartozó baktériumok egyes fajainak (pl. *Streptococcus thermophilus*, *Streptococcus faecium*, *Escherichia coli*, *Bacillus clausii*, *Bacillus oligonitrophilus*, *Propionibacterium freudenreichii*) bizonyos törzsei, és nem bakteriális mikroorganizmusok, mint pl. egy élesztőgomba, a *Saccharomyces boulardii* és *cerevisiae* törzse is (1. táblázat) [8].

A probiotikus baktérium- és gombatörzsek az alábbi nemzetségek fajai közé tartoznak			
Lactobacillus genus	Bifido-bakterium genus	Egyéb baktérium fajok	Élesztő-gombák
L. acidophilus L. casei L. delbrueckii Bulg. L. reuterii L. brevis L. cellobiosus L. curvatus L. fermentum L. plantarum L. rhamnosus GG L. salivarius L. gasseri L. johnsoni L. helveticus L. farciminis	B. bifidum B. infantis B. longum B. thermoph. B. adolescents B. lactis B. animalis B. breve	Streptococcus thermophilus Enterococcus faecium Propionibact freudenreichii E. coli Nissle 1917 Bacillus clausii Bacillus oligonitrophilus	Saccharo-myces cerevisiae Saccharo-myces boulardii

1. táblázat A legfontosabb probiotikus organizmusok besorolása

A BÉLFLÓRA SZEREPE

Szervezetünk legnagyobb felszínrel, a 7–9 méter hosszú és kb. 300–400 négyzetméteres bélrendszerünkön keresztül áll kapcsolatban a külvilággal. A felszívódási mechanizmusok mellett így hatalmas, potenciális támadási helyként szolgál a kórokozók és a toxikus anyagok számára is. A szervezet kialakított egy összetett védelmi rendszert, melynek fizikai megtestesülését a nyálkahártya hámsejtjei és a közöttük levő sejtkapcsoló struktúrák (tight junctions) képezik. Ezt erősítik a hámsejtek által termelt antimikrobiális peptidok és a felszínt borító nyákréteg (glycocalix) [6], mely biofilm réteget képezve fedi be a nyálkahártya felszínét, ezáltal nemcsak mechanikai, de kémiai barriert is képez a mikrobák behatolási kísérletével szemben [21]. A hámszövet és a bélnyálka mellett a bélcsatorna mikrobiológiai ökoszisztémája (bélflóra) együttesen alkotja a tápcsatorna természetes védelmi rendszerét. A bélben normális körülmények között mintegy 200–400 baktériumtörzs található, ezek 99%-át 30–40 species teszi ki, többségük anaerob. Ez hozzávetőlegesen 10^{14} baktériumot jelent, mely tízszer több mint az emberi test teljes sejtszáma, tömege kb. 3 kg. A széklet szárazanyag tartalmának 40–60%-át teszik ki. Csíraszámuk a vékonybélben milliószor kevesebb, mint a vastagbélben [7].

A magzati életben a bél steril. Az újszülött először a szülőcsatornában kontaminálódik baktériumokkal. A normál hüvelyflórából az újszülöttbe jutó *Lactobacillus*ok az anyatej oligoszacharidjai (mint prebiotikumok) bifidogén hatására kolonizálódnak az újszülött bélrendszerében. A „jótékony” baktériumok ilyenkor 95–98%-ban dominálnak.

Vegyes táplálkozás hatására a hasznos flóra kórokozó és potenciálisan patogén baktériumokkal keveredik. A felnőtteknél 40–45%-os probiotikus flóra arányt jelölnek meg kívánatos alsó értéknek. Hazai felmérések alapján ez az arány nem haladja meg a 12%-ot [47]. Ekkorra a bélflórában négy meghatározó organizmus van jelen: a *Bacteroides*, a *Bifidobacteria*, az *Eubacteria* és a *Peptostreptococcus*. A kisebb számban jelen lévő organizmusok a szubdomináns flóra részét képezik. Ezek közé tartoznak a *Streptococcus* és – az újszülöttkori kolonizáció során domináns, mostanra visszaszoruló – *Lactobacillus* genus, valamint az *Enterococcus*, a *Clostridium*, a *Bacillus* genus és a kis mennyiségben jelen lévő élesztőgomba. Létezik, az ún. átmeneti mikroflóra is, melyet különböző exogén baktériumok alkotnak. Ezek a bevitelt követően sértetlenül haladnak át a beleken [7].

A természetes bélflórát alkotó baktériumokkal szembeni immuntolerancia kifejlődésének pontos mechanizmusa a mai napig sem tisztázott teljes mértékben, azonban számos tényezőt ismerünk, melyek által a mikrobák jelenléte nem aktiválja a szervezet immunrendszerét. Közülük a legfontosabb, hogy ezen organizmusok általában nem hatolnak át a bélnyálkahártya sejtrétegén, vagy ha mégis, akkor a mukozális immunrendszer gyorsan hatástalanítja őket, így nem indul be szisztémás immunválasz [23].

A gasztrointesztinális nyálkahártya a szervezet legnagyobb immunszerve (mucosa-associated lymphoid tissue – MALT) is egyben, melyet együttműködő mechanizmusok komplex hálózata alkot, benne citokinek, antitestek és lymphocyták. Az ember celluláris immunrendszerének mintegy 80%-a itt található. A bél korai kolonizációja szerepet játszik ennek érésében is, mert szekretoros IgA-t termel, befolyásolja a fagocita aktivitást és az antigén prezentáció folyamatát [47].

Az egészséges bélflóra, kolonizációjuk akadályozásával, védelmet biztosít számos kórokozóval szemben [33]. Biztosítja a bélnyálkahártya permeabilitásának épségét, és segíti a szervezet számára szükséges tápanyagok felszívódását; közvetlenül vagy speciális fehérjék termelésével gátolja az idegen baktériumok megtelepedését; védi a bélnyálkahártya sejtjeinek épségét is [2]. Energiaszükségletünk kb. 10%-át biztosítják pl. olyan metabolitok termelésével (arginin, glutamin, rövid láncú zsírsavak), melyeket a bélhámsejtek fő energiaforrásként használnak. Közreműködnek az elfogyasztott, emészthetetlen poliszaharidok lebontásában, szerves anyagok felszívódásában (kalcium, magnézium, vas) és számos, a szervezet számára nélkülözhetetlen vitamint (tiamin, folsav, K-vitamin, pyridoxin) termelnek.

Ha az emésztőrendszer védelmi mechanizmusai gyengülnek, olyan eseménysor mehet végbe, mely káros a szervezet számára, és megbetegedéshez vezethet. Ilyenkor a mikroorganizmusok kórokozóvá válva a nyálkahártyán gyulladásos reakciót indíthatnak be. Ez a bélfalra kiterjedő, erőteljes lokális immunválasz megváltoztatja annak permeabilitását, mely a felszívódási mechanizmusok zavarát okozhatja, vagy akár a kórokozók szétterjedésével szepszis (SIRS/Systemic Inflammatory Response Syndrome, vagy sokszervi elégtelenség –MOF/Multi Organ Failure) oka lehet [47].

A PROBIOTIKUMOK ÉLETTANI HATÁSMECHANIZMUSA

Eddigi ismereteink alapján, a probiotikumok számos területen fejtenek ki jótékony hatást. Segítenek megőrizni vagy visszaállítani a normál bélflórát például fertőzések, antibiotikum kúra, vagy onkológiai kezelést követően. Csökkentik a béltartalom pH-értékét, részt vesznek az emészthetetlen tápanyagok lebontásában, a karcinogének béllumenből való eltávolításában, különböző vitaminokat szintetizálnak, javítják az árványi anyagok felszívódását [7]. Gátolják a kórokozókat, melynek egyik mechanizmusa, hogy ún. „bakteriális interferencia” révén versengenek velük a táplálékért és akadályozzák megtapadásukat a mucosához. Ennek során kórokozókhoz hasonlóan adhezinek (a bélnyálkahártya sejtek membránján levő specifikus receptorok felismerésére képes molekulák) termelve megtapadnak, így számos beható kórokozóval szemben biztosítanak védelmet, amelyek között megemlíthetőek a Clostridium, Escherichia coli, Salmonella, Shigella és Pseudomonas törzsek egyes tagjai, valamint a Candida albicans és egyéb mikrogombák [22][33]. További hatásuk, hogy a probiotikus baktériumok által termelt tejsav csökkenti a colon pH-értékét, ezáltal gátolja a különböző, esetlegesen vagy szükségszerűen megjelenő anaerob baktériumok növekedését, mely – toxintermelők esetén - lehetőséget nyújt arra, hogy a toxintermelés beindulásához szükséges mennyiségre a kórokozó ne tudjon feldúsulni. Egyes probiotikumok antimikrobiális vegyületeket is termelnek (hidrogén-peroxid, bakteriocin, bakteriolizin), továbbá pl. a tejsav-baktériumok nem termelnek bomlasztó anyagokat, így ha túlsúlyba kerülnek, csökkentik a patogének toxintermelő kapacitását [4][45].

A probiotikumok immunmoduláló hatása is a kórokozó mikrobák kompetitív gátlása révén valósul meg. A probiotikumok a bél epitheliális felszínén lévő dendritikus sejtek – mint antigén prezentáló sejtek – Toll-like 4 receptoraihoz kötődve a naív T-sejtek differenciálódását a Th1, illetve a T-regulátor sejtek dominanciája irányába tolja el. Az utóbbiak által termelt citokinek (IL-2, IL-12, IFN-gamma) túlsúlya az immuntolerancia kialakulását és a természetes adaptív

immunitást segíti a kórokozókkal szemben. Csökkent Th1 citokintermelés esetén az ellenállóképesség csökken, gyakoribbak és súlyosabbak a szervezetünket érő fertőzések. A korai citokinkörnyezet megszabja, hogy a dendritikus sejtek által prezentált antigén immunogén vagy tolerogén hatást vált-e ki az adaptív immunsejtekből? Probiotikumok hiányában a korai kolonizáció elmaradása (császárszülés), illetve kórokozó mikróbák korai megtelepedése (bakteriális vaginózis) esetén Th2 típusú citokin túlsúly alakul ki, amely kedvez az allergia, atópia, autoimmun folyamatok kialakulásának [3][44].

A tejsavtermelő baktériumok stimulálják a nonspecifikus immunválaszt, serkentik a TNF-alfa, az IL-6, és az IL-10 termelést is, viszont csökkentik a proinflammatorikus citokinek képződését, baktericid proteinek termelnek, serkentik az epithelsejtek defenzin és a szekretoros IgA termelést, és erősítik a mukózábarriert, ami kedvező a gyulladásos és az allergiás/atópiás kórképek megelőzésében és kezelésében [4][45]. A megváltozott immunválasz következtében a bélrendszertől távoli helyeken is megfigyelhető a kórokozókkal, illetve a gyulladással szembeni védettség [27].

A PRO- ÉS PREBIOTIKUMOK HATÁSA KÜLÖNBÖZŐ KÓRKÉPEKBEN

A probiotikumok jótékony hatását már számos kórállapotban – az ún. evidence based medicine (EBM) elveinek megfelelően – tehát objektív, kettős vak, placebo-kontrollált vizsgálatok alapján bizonyították.

Gasztrointesztinális betegségek

A prebiotikus étkezési rostok a székletmennyiség növelésével javítják a bélmotilitást, rövidül a tranzitidő, a toxikus anyagcseretermékek kevesebb ideig tartózkodnak a bélben, csökken a nyálkahártya irritáció, a gyulladásos és kedvezőtlen immunreakciók, valamint a karcinogenezis. A probiotikumok a kórokozók kompetitív gátlásával megakadályozzák a táplálék kóros bakteriális fermentációját, a bélben csökken a gázképződés, a bélfal feszülése és a hasi fájdalom. A *Lactobacillus* alfa galaktozidáz termelés révén csökkentik a *laktóztolerancia* és a társuló *irritábilis bél szindróma (IBS)* tüneteit [39]. A vékonybél bakteriális túlburjánzása esetén *Lactobacillus paracasei* ssp *paracasei* CRL-431 törzs adásával kevesebb a napi székletszám, a probiotikumok kedvező hatása H2 kilégzéses vizsgálattal objektívizálható [12]. *Divertikulitis* kezelése során a betegek tartósabban maradnak panaszmentesek probiotikumok kiegészítő alkalmazása mellett [47].

A probiotikumok jótékony hatása igazolódott autoimmun gyulladásos bélbetegségekben, *colitis ulcerosában* és *Crohn-betegségben* is. Egyes vizsgálatok szerint *colitis ulcerosában* a Bifidobacteriumok által erjesztett tej fogyasztása szignifikánsan csökkenti a betegség aktivitását, és javítja a bélnyálkahártya szöveti képét [7]. A betegség egyes súlyos eseteiben teljes vastagbél-eltávolításra kerül sor. Ilyenkor a vékonybélből ún. pouch kerül kialakításra, melynek gyulladása a *pouchitis*. A probiotikumok sikeresen alkalmazhatók a *pouchitis* remissziójának fenntartásában, hasznukat a szövettani kép javulása is alátámasztja [14]. *Crohn-betegségben* is kimutatható a bélflóra megváltozása, a Bifidobaktérium és a *Lactobacillus* törzsek számbeli csökkenése, melyek pótlásával zajlott vizsgálatok a betegségaktivitás csökkenését igazolták [7].

Meier és munkatársai *irradiációs kolitisz* kezelésében azt tapasztalták, hogy a *Lactobacillus*, Bifidobacterium és *Streptococcus thermophilus* törzsekből álló VSL-3 készítmény hatására

csökken a hasmenések száma és az irradációs nyálkahártyakárosodás mértéke [26].

A gyulladással járó kórformákban feltételezhető hatásmechanizmusok között a *Lactobacillus*ok, már ismertett antiinflammatorikus citokin termelése, a fagocitózist és a plazmasejtekre kifejtett IgA termelést fokozó hatása játszhat szerepet. Jó eredmények tapasztalhatók a *virális/bakteriális gasztroenteritiszek* probiotikumokkal történő prevenciójában és terápiájában. Gyermekkorban akut *gasztroenteritisz*ének kezelésében az azonnali rehidráció mellett elkezdett probiotikus terápia az European Society of Pediatric Gastroenterology Hepatology Nutrition Working Group (ESPGHAN) ajánlása [16]. Metaanalízisek tanulságai alapján a leghatásosabb törzs a *Lactobacillus rhamnosus* (EBM: Ia szintű evidencia), míg a *Saccharomyces boulardii* (EBM: Ib szintű). A *Lactobacillus rhamnosus* speciális rotavírus ellenes IgA antitesttermelése révén a - leggyakoribb gyermekkorban hasmenés okaként szereplő - rotavírusfertőzés lezajlásának idejét jelentősen megrövidíti. A *B. bifidum*nak és a *S. thermophilus*nak a *nozokomiális virális hasmenések* prevenciójában van szerepe [7]. Megfigyelték, hogy korreláció mutatható ki a *Lactobacillus*ok csökkenése és a *nekrotizáló enterokolitisz* előfordulása között [36]. A *Lactobacillus*ok laktáztermelése révén mérséklik a *laktózintolerancia* tüneteit [32]. Klinikai vizsgálatok igazolták a probiotikumok hatékonyságát a fejlődő országokban, trópusi területekre *utazók hasmenésének* megelőzésében. Az esetek 85%-ában igazolható fertőzőes eredet (leggyakoribb kórokozó az enterotoxikus *E. coli*), a fennmaradó részben a szervezet számára szokatlan élelmiszer összetevők, és azok elkészítési módja a kiváltó ok. Az un. ételmérgezésekhez kapcsolódó hasmenések különböző mikrobiális toxinok, illetve vegyi anyagok következményei. Ezek a Na-glutamát, a nehézfémek, inszekticidek és természetes toxinok, melyek baktériumokban, gombákban és egyes tengeri halakban találhatóak. A probiotikumok, többek között a *S. thermophilus*, *L. bulgarius*, *L. acidophilus* és *B. bifidum* az un. *utazók hasmenésére* kifejtett preventív hatását számos klinikai vizsgálat igazolta [7]. Az előzőekben bemutatott és igazolt preventív hatás, és a *vírus okozta hasmenésre*, dózisfüggő módon gyakorolt kedvező eredmény ellenére, az invazív *baktériumok okozta*, már zajló *hasmenést* kevésbé befolyásolják [40][41].

Fogyasztásuk segíti egyes bakteriális kórképek kezelése során alkalmazott, széles spektrumú antibiotikus kezelés miatt kialakuló diszbakteriózis, bélnyálkahártya károsodás és következményes – az antibiotikum terápiában részesülők 5–30%-ban jelentkező – hasmenés (*AAD-Antibiotic Associated Diarrhoea*) megelőzését és kezelését [18][20]. Ennek klinikai lefolyása az enyhe hasmenéstől a súlyos, akár letális szövődeményekkel járó formákig terjedhet [25]. Megfigyelések szerint bármely antibiotikum alkalmazása során felléphet, de leggyakrabban az un. aminopenicillinek, 3. generációs cefalosporinok, linkozaminok, és egyes fluorokinolonok (pl. levofloxacin) adásakor fordul elő [18][25]. Az *AAD* kialakulása akár 52%-kal csökkenthető probiotikumok alkalmazásával. Megjegyzendő, hogy az antibiotikus kezelés hatására ritkán kialakuló súlyos, *Clostridium difficile* okozta un. *pseudomembranosus colitis* kezelésének önmagában a probiotikum nem lehet az eszköze. Ez csak a komplex gyógyszeres kezelés részeként ajánlható [20].

Allergiás kórképek

Számos klinikai vizsgálat biztató eredményekről számolt be a pro- és prebiotikumok alkalmazását illetően allergiás kórképekben (allergiás rhinitis, asztma bronchiale, atópiás dermatitis,

IgE mediált ételallergia). A fent bemutatott mechanizmus alapján segítik a T-sejtek differenciálódását (Th1/Th2), mely révén fokozódik az IgA válasz, és csökken az allergiában szerepet játszó IgE produkció [4][45].

Felső légúti infekciók

A felső légúti infekciók a leggyakoribb kórképek. Magas számukból adódóan leginkább felelősek az átmeneti munkaképesség csökkenésért, munkaképtelenségért. Számos vizsgálat foglalkozott a probiotikumok ezen betegségekre gyakorolt hatásával. Kedvezőnek találták, hogy a kórokozókra kifejtett közvetlen hatásai mellett a Th1 típusú, citokintermeléssel a patogénnel szembeni természetes gyulladási válaszreakciót erősítik. Ez a prevenció és a kialakult betegségek alakulásában is nyomon követhető. Megfigyelték, hogy probiotikum adásával csökkenthető például a nozokomiális infekciók incidenciája, és a kezelés részeként adva a kialakult fertőzések is hamarabb gyógyulnak, így csökkenthető az antibiotikumok alkalmazásának szükségessége. Ennek révén kivédhető vagy mérsékelhető a kórházban szerzett és antibiotikum-asszociált hasmenés (AAD) előfordulása, és ha mégis kialakul, hamarabb gyógyul [37][48].

Randomizált, vak, multicentrikus, párhuzamos, placebókontrollált felmérések alapján visszatérő légúti fertőzések esetén a *Bacillus clausii* alkalmazása a kezelést követő három hónapban mérsékelte a légúti fertőzés előfordulásának esélyét, illetve bekövetkezése esetén lecsökkentette azok időtartamát [24][43].

A metaanalízisek egyik legelismertebb gyűjteménye, a napjainkban több mint 60 ország 6000 kutatója által folyamatosan bővülő, *Archie Cochrane* (1909–1988) brit kutató tiszteletére elnevezett Cochrane-adatbázis egy elemzése 14 randomizált, kontrollált (RTC) vizsgálat 3451 betegének adatainak metaanalízise alapján biztonságosnak és hatásosnak találta a probiotikumok használatát felső légúti infekciók megelőzésében. Ez alapján a placebóval kezelt betegcsoporthoz képest kevesebb volt az akut felső légúti infekciók száma, így csökkent az antibiotikum felhasználás. (EBM: A-típusú evidencia) [17].

Az orr és melléküreghrendszer gyulladási betegségeivel és kezelésével foglalkozó nemzetközi konszenzus-tanulmány, az *EPOS 2012* (European Position Paper on Rhinosinusitis and Nasal Polyps 2012), az *akut rhinosinusitis* kezelési lehetőségeinek ismertetésekor a probiotikumokat a virális eredetű megbetegedések prevenciójában az un. EBM elveinek megfelelően a legerősebb, azaz *Ia szintű/A* típusú evidencia ajánlással javasolja [9]. Ez a kedvező terápiás eredmény sajnos a *krónikus rhinosinusitissel* kapcsolatos vizsgálatokban nem volt igazolható [28].

A pro- és prebiotikumok hatása egyéb kórképekben

Májbetegségeknél a *Staphylococcus* és az *E. coli* baktériumok javára eltolódó bélflóra szinbiotikumokkal történő kezelésekor a kórokozók aránya visszaszorul, ezáltal csökken a kóros bomlástermékek mennyisége, így az ammóniaszint, mely a *hepatikus encefalopátia* kezelésében hozhat eredményt. Az endotoxinémia csökkentése az *alkoholos*, és a *nem-alkoholos májkárosodásoknál* a májfunkciók javításában kedvező, a gyulladási folyamat gátlása késlelteti a *zsírmáj*, a *fibrózis*, a *cirrózis* és a karcinogenezis létrejöttét [15].

A prebiotikumok képesek mérsékelni az *oszteoporózis* és az *oszteopenia* valamint egyes *hiányállapotok* kialakulását. A tejsav hatására bekövetkező pH-eltolódás javítja az ásványi anyagok (kalcium, magnézium, vas, cink) oldódását, segíti biohasznosulásukat, valamint az oligoszaharidák megkötik ezen ionokat, és azokat a vastagbélbe juttatva lehetővé teszik nagyobb arányú felszívódásukat [7].

A vizelet oxalátszintjének növekedése fokozott rizikót jelent *vesekőképződés* szempontjából. A probiotikus baktériumok az oxalát bélből történő visszaszívódásának gátlásával segíthet ezen kövek kialakulásának megelőzésében [47].

A pro- és prebiotikumok a koleszterin-anyagcsere különböző lépéseibe beavatkozva, képesek a szérum koleszterinszintjét csökkenteni [46]. A prebiotikumok modulálják a gasztrointesztinális peptideket, a motilitást és az éhségérzetet. Rövidszénláncú zsírsavak képzése révén befolyásuk van a glukózanyagcsere szabályozására és az inzulinrezisztenciára is. Az oligofruktóz gátolja a hepatikus lipogenezist, csökkenti a trigliceridszintet. A propionsav gátolja HMG-CoA reduktazt, amelynek a koleszterinszintézisben van szerepe. Gátolja a glukoneogenezist, csökkenti a szérum szabad zsírsav koncentrációját, javítja az inzulinrezisztanciát, fokozza a glikolízist. A probiotikumok önmaguk is képesek a koleszterol molekula asszimilációjára, részt vesznek az epesavak enzimatis dekonjugációjában, ezáltal csökkentik az összkoleszterin szintet, javítják a HDL/LDL arányt [46]. Egy 8 hetes humán vizsgálat során probiotikumok kombinációjával 8%-kal sikerült az LDL-koleszterinszintjét mérsékelni [19].

A testsúly és a glukózkontroll modulálása mellett a fermentált tejtermékek bioaktív tripeptidjei (a valin-prolin-prolin és az izoleucin-prolin-prolin) proteolitikus hatásuk révén ACE-gátló hatást kifejtve enyhe vérnyomáscsökkenést okozhatnak [1][49]. Egy tanulmány szerint probiotikus kombinációt alkalmazva mérsékelt *hipertóniával* rendelkező betegeknél a szisztolés vérnyomás 4 hét után $9,4 \pm 3,6$ Hgmm-rel ($p < 0,05$), 8 hetet követően $14,1 \pm 3,1$ Hgmm-rel ($p < 0,01$), a diasztolés értéket pedig $6,9 \pm 2,2$ Hgmm-rel ($p < 0,01$) sikerült csökkenteni [1]. A *lipidanyagcserére* és a *vérnyomásszabályozásra* bemutatott hatásuk miatt helyük van a kardiovaszkuláris betegségek prevenciójában.

Egyes probiotikumok (többek között a *Lactobacillus plantarum*) védő szerepet töltenek be a *karcinogenezis* folyamatában, gátolják azon baktériumokat, amelyek a prekarcinogéneket karcinogénekké alakítják, direkt módon képesek gátolni a sejtttranszformációt, megkötik vagy inaktíválják a karcinogéneket [30]. A prebiotikumok (pl. inulin, oligofruktán) antikarcinogén hatása a rövidláncú zsírsavak (butirát, propionát) képződése által valósul meg, melyek fokozzák a bélmotilitást, csökkentve a bélhámsejtek karcinogének általi expozíciójának idejét, továbbá gátolják a tumorsejtek növekedését és metasztatizáló képességét, továbbá indukálják azok apoptózisát [7].

A probiotikumok szerepe a vakcinációban

Klinikai vizsgálatok kimutatták a probiotikumok kedvező hatását influenza vakcináció esetén. Az eredmények alapján a szeroprotekció és szerokonverzió szignifikánsan magasabb volt a probiotikumot szedőknél, az azt nem fogyasztó vakcinázott csoporthoz képest. Emellett megfigyelték, hogy a vakcinára egyébként gyengébben reagálóknál a probiotikus termékekkel való kiégszítés hatására relatíve magasabb ellenanyagtitereket regisztráltak, mint azok esetén, akik a



vakcinára jobban reagáltak [7]. Az irodalom által fellelhető megfigyelések eddig csak az influenza vakcináció és a probiotikumok használatának összefüggését vizsgálták. Egyéb immunizációk esetén vizsgálatok még nem állnak rendelkezésre, de a hasonló összefüggésben bízva és káros mellékhatások hiányában használatuk ebben az összefüggésben is ajánlható.

A PROBIOTIKUMOK FELHASZNÁLÁSÁNAK KATONAORVOSI JELENTŐSÉGE

Egy olyan - teljes testi és szellemi egészséget megkövetelő – szolgálat esetében, mint a katonai repülés, a személyzet egészségügyi alkalmasságának megőrzése a katona-egészségügy kiemelt feladata. A cél a már kiképzett állomány egészséges állapotának fenntartása, illetve a kialakul betegségek minél rövidebb idő alatti, lehetőleg maradványtünetek nélküli gyógyítása. Ennek jelentősége azért is hangsúlyos, mert a különböző kórállapotok okozta egészségügyi alkalmatlanság miatt, akár csak átmenetileg is kieső állomány hiánya a kijelölt feladat teljesítését veszélyeztetheti, továbbá a helyettesítés vagy pótlás is komoly feladat.

Minden olyan lehetőséget érdemes kihasználni, mely a leginkább előforduló kórképek gyógyításában, vagy akár megelőzésében is alkalmazható.

Az eddig bemutatottak alapján a pro- és prebiotikumok a leggyakoribb, átmeneti egészségügyi alkalmatlanságot okozó felsőlégtúti infekciók gyógyulási idejének rövidítésében és tüneteinek mérséklésében, illetve bizonyítottan preventív hatásuk alapján ajánlhatóak.

Az előzőekben részletezett klinikai vizsgálatok alapján a szintén gyakori hasmenése állapotok megelőzésében és kezelésük kiegészítésében bizonyítottan szerepük van.

BIZTONSÁGOSSÁGI SZEMPONTOK ÉS A PROBIOTIKUMOK TERÁPIÁS DÓZISA

Jótevény hatásainak kifejtése mellett a probiotikumoknak számos biztonsági és technológiai kritériumnak is meg kell felelniük. Élő organizmusok lévén nem lehetnek kórokozók a gazdaszervezet számára, genetikailag stabilnak kell lenniük, nem lehetnek képesek antibiotikum-rezisztencia gének átadására egyéb mikrobák számára. A bélrendszerben és abból kijutva sem okozhatnak betegségeket és nem lehet késői káros hatásuk. Mindezek mellett a termékek szavatossági idejéig meg kell őrizniük a bennük levő organizmusok életképességét. Fogyasztásukat követően egy részüknek túl kell élniük a béltraktuson való áthaladást, azaz ellenállónak kell lenniük a gyomor és béltartalom (sav, epe) károsító hatásával szemben, hogy legalább ideiglenesen képesek legyenek a kolonizációra.

Több évezredes megfigyelések és az utóbbi évtizedek Lactobacillusokkal folytatott vizsgálatait egyetlen esetről sem számoltak be, melynek során mellékhatás vagy bakteriémia alakult volna ki. Az egyéb probiotikumok hatásosságával kapcsolatos vizsgálatok során sem figyeltek meg bakteriémiát vagy fungémiát. Az irodalom csak néhány immunszuprimált, vagy súlyos állapotú betegnél, ritkán újszülötteknél számolt be Lactobacillus bakteriémiáról, endokarditisz szepsziszről, meningitiszről. A pro- és prebiotikumok hatásossági vizsgálatait során észlelt hányinger,

hányás, görcsös hasi fájdalom, kiütés, székrekedés, hasmenés, fokozott bélgázképződés gyakorisága ritkán haladta meg a placebót kapó kontrollcsoportnál megfigyeltet [18].

A probiotikumok kolonizációja reverzibilis és átmeneti. Például a Lactobacillusok a vastagbelet csak kevesebb, mint egy hétig képesek kolonizálni [7]. Ahhoz, hogy képesek legyenek környezetükre hatást gyakorolni, a nagyszámú jelenlét alapfeltétel, mely a bélfolyadékban grammonként legalább 10^8 cfu organizmust jelent (cfu-koloniformáló egység). Egészséges önkéntesen végzett vizsgálatok alapján ez a csíraszám 10^{10} orálisan bevitt dózissal biztosítható. Az észlelt egészségügyi hatások törzs-specifikusak, azaz hatásmechanizmusukban, hatékonyságukban lényegesen különböznek. Ezen törzsek azonosítása a modern kutatások alappillére. Számos tanulmány megerősíti, hogy a probiotikumokat kombinációban adva és/vagy prebiotikumokkal együtt alkalmazva hatásuk javítható [47].

Ezeket a mikroorganizmusokat tartalmazhatják élelmiszerek (pl. kefirek, joghurtok), étrendkiegészítők (pl. Protexin, Lactiv, Lacto-protect, Béres ProBio6), gyógyászati célra szánt tápszerek, vagy - a legszigorúbb minősítésnek is megfelelően - gyógyszerként is bejegyzett készítmények (pl. Normaflore, Enterol) is (2. táblázat). Tekintettel arra, hogy az élelmiszerek és étrendkiegészítők ellenőrzési feltételei jóval kevésbé szigorúak, mint a gyógyszerek esetében, így azok fogyasztása csak az egészséges életmód részeként, egészségmegőrzésre ajánlható. Betegségek kezelésének részeként a gyógyszer minősítésű készítmények javasolhatók.

A termék márkaneve	A termék alcsoportja	Probiotikum tartalom	Alkalmazási javaslat/nap
Normaflore (gyógyszer minősítésű)		Bacillus clausi 2×10^9	felőtt 2-3x1, gyerek 1-2x1 amp./kapsz.
Enterol (gyógyszer minősítésű)		Saccharomyces boulardi	1-2 kapsz.
Protexin (étrend-kiegészítő)	Balance	7 féle törzs + prebiotikum	2x1 kapsz.
	Protect	7 féle törzs + fokhagymakivonat	1x1 kapsz.
	Junior	7 féle törzs + prebiotikum + C-vit.	1-2 rágótabl.
	Restore	7 féle törzs, 10^9 , + prebiotikum	1 tasak
	Natural care	7 féle törzs, 10^7	1x2 kapsz
Pearls (étrend-kiegészítő)	IC	6 féle törzs, $>10^9$	1 kapsz.
	Yeast Balance	3 féle törzs, $>10^9$	1 kapsz.
	Acidophilus	2 féle törzs, $>10^9$	1 kapsz.
ProGastro (étrend-kiegészítő)	825	10 féle törzs, $>7,5 \times 10^9$ +prebiot.	1 tasak
	Immun-Aktív	6 féle törzs + prebiotikum	1 tasak
	Kid+	7 féle törzs + prebiotikum	2,5ml por oldva
Bonolact (étrend-kiegészítő)	Re+General	Lactobac. + Bifidobact. $>5 \times 10^9$	1-2 kapsz
Laktiv (étrend-kiegészítő)		5 féle törzs + B-vitaminok	1 kapsz.
Lakto-Protect (étrend-kiegészítő)		Lactobac. + Bifidobact., 10^9 + prebiotikum	1-2 kapsz.
	Baby	Bifidobact. animalis, 3×10^9	1-2 tasak
Béres (étrend-kiegészítő)	ProBio6	6 féle törzs, $>1,5 \times 10^9$	felőtt 1-2 kapsz. gyermek 1 kapsz.

2. táblázat: A Magyarországon forgalomban levő legismertebb probiotikumot tartalmazó készítmények

A bemutatott vizsgálatok összességében bizonyították, hogy a probiotikumok szedése egészségesebben is serkenti az immunrendszer működését, fokozza az ellenállóképességet, melyre a katonáinkat érő fokozott stressz, a pihenés-, illetve alváshiány, továbbá a csíragazdag környezet immunpróbáló hatása miatt fokozottan szükség van. Fontos megjegyezni, hogy jótékony élettani hatásaiak megfelelően nagy mennyiségű bevitel esetén is csak átmenetileg, alkalmazásuk időtartamára korlátozódnak, így rendszeres fogyasztásuk indokolt. Kellő ismeretek birtokában a katonae-gészségügy számára egy természetes, széles körű, perspektivikus alkalmazási lehetőséget kínálnak számos betegség megelőzése által a katonai repülés számára. Megelőző szerepük nem vitatható, de a már kialakult betegségek kezelésében nem helyettesíthetik, csupán kiegészítik az előírt gyógyszeres kezelést. A rendelkezésre álló tanulmányok ellenére a probiotikumok hatásmechanizmusának és klinikai sajátosságainak még jobb megértéséhez további, nagyobb elemszámú, kellően dokumentált vizsgálatokra van szükség, melyek által pontosítható az egyes kór-állapotokra bizonyítottan előnyös pro- és prebiotikumok ideális összetétele.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AIHARA K, KAJIMOTO O, HIRATA H, et al. Effect of powdered fermented milk with *Lactobacillus helveticus* on subjects with high-normal blood pressure or mild hypertension. *J Am Coll Nutr* 2005; 24 (4): 257–265.
- [2] BACKHED F., LEY RE., SANNENBURG JL., PETERSON DA., GORDON JI.: Host-bacterial mutualism in the human intestine, *Science* 2005, 307, 1915–20.
- [3] BAGER P, WOHLFAHRT J, WESTERGAARD T. Caesarean delivery and risk of atopy and allergic disease: meta-analyses. *Clin Exp Allergy* 2008; 38 (4): 634–642.
- [4] BOIRIVANT M, STOBERT W. The Mechanism of Action of Probiotics *Curr Opin Gastroenterol* 2007; 23 (6): 679–692.
- [5] BOTTAZZI V. Food and feed production with microorganisms. *Biotechnology* 1983;5:315–63.
- [6] BRUEWER N., SAMARIN S., NUSRAT A.: Inflammatory bowel disease and the apical junctional complex. *Ann N Y Acad Sci*, 2006, 1072: 242–52.
- [7] CSIKI Z., ZEHER M., PAPP G., ANDRÁS Cs., TAKÁTS A., CSIKI E.: Pre- pro- és szinbiotikumok szerepe, kedvező élettani hatásai. *Metabolizmus*, 2010; 8: 294–299.
- [8] FAO/WHO EXPERT CONSULTATION:” Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food” London Ontario (Canada), April 30 and May 1. 2002. http://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/probiotics/en/oppure. http://www.fao.org/es/ESN/food/foodandfood_probiococons_en.stm (2014.02.08.)
- [10] FOKKENS W., LUND V., MULLOL J., BACHERT C., et al.: European Position Paper on Rhinosinusitis and Nasal Polyps 2012. *Rhinology*, 2012, 50 (supl. 23), p 201.
- [11] FULLER R. Probiotics in man and animals. *J Appl Bacteriol*, 1989;66:365–78.
- [12] LILLY DM, STILLWELL RH. Probiotics. Growth promoting factors produced by micro-organisms. *Science* 1965;147:747–8.
- [13] GAON D, et al. Effect of *Lactobacillus* strains (*L. casei* and *L. acidophilus* Cerela) on bacterial overgrowth-related chronic diarrhea. *Medicina*; 2002; 62: 159–163.
- [14] GIBSON GR, ROBERFROID MB. Dietary modulation of the human colonic microbiota. Introducing the concept of prebiotics. *J Nutr* 1995; 125:1401–12.
- [15] GIONCHETTI P, RIZZELLO F, MORSELLI C, et al. “High-dose probiotics for the treatment of active pouchitis.” *Dis Colon Rectum* 2007; 50: 2075–2082.
- [16] GRATZ SW, MYKKANEN H, EL-NEZAMI HS. Probiotics and gut health A special focus on liver diseases: *World J Gastroenterol* 2010; 16 (4): 403–410.
- [17] GUANDALINI S. Acute Diarrhea in Children in Europe: Do We Know How to Treat It? *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2008; 46.

- [18] HAO Q, LU Z, DONG BR, HUANG CQ, WU T.: Probiotics for preventing acute upper respiratory tract infections. *Cochrane database of systematic reviews (Online)*. 2011;9:CD006895.
- [19] JÓSA V., CSÁSZÁR J., BARANYAI Zs., EL KHOFFASH A., BECSKE M.: Antibiotikum és probiotikum együttes adásának előnyei. *Otorhinolaryngologia Hungarica*, 2012, 58 (1): 72-75.
- [20] JACKSON KG, et al. Functional foods, blood lipids and coronary heart disease. *Food Science & Technology Bulletin: Functional Foods* 2002. 8 May.
- [21] LAKATOS L., LAKATOS PL., Antibiotikum-kezeléshez társuló hasmenés és pseudomembranosus colitis. *LAM*, 2006, 16 (7): 609-616.
- [22] LAPIS K.: Az antimikrobiális petridek és a mintázatfelismerő receptorok szerepe a bélrendszer homeosztázisának fenntartásában. *Orv Hetil*, 2009, 150: 2146-9.
- [23] LEE Y.K., PUONG K.Y.: Competition for adhesion between probiotics and human gastrointestinal pathogens in the presence of carbohydrates. *Br. J. Nutr.* 2002; 68 (2):938-41.
- [24] MACPHERSON AJ, GATTO D., SAINSBURY E., HARRIMAN GR., HENGARTNER H., ZINKENAGEL RM.: A primitive T cell-independent mechanism of intestinal mucosal IgA responses to commensal bacteria. *Science*, 2000, 288: 2222-6.
- [25] MARSEGLIA G., TOSCA M., CIRILLO I., LICARI A., LEONE E., MARSEGLIA A., CASTELLAZZI A., CIPRANDI G.: Efficacy of *Bacillus clausii* spores in the prevention of recurrent respiratory infections in children: a pilot study. *Therapeutics Clin Risk Management* 2007; 3(1):13-17.
- [26] McFARLAND Farland LV: Epidemiology, risk factors and treatment for antibiotic-associated diarrhoea. *Dig Dis*. 1998, 16:292-307.
- [27] MEIER R, BURRI E, STEUERWALD M. The role of nutrition in diarrhoea syndromes. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2003; 6 (5): 563-567.
- [28] MIETTINEN M, VUOPIO-VARKILA J, VARKILA K. Production of human tumor necrosis factor alpha, IL-6 and IL-10 is induced by lactic acid bacteria. *Infection and Immunity* 1996; 64 (12): 5403-5405.
- [29] MUKERJI SS, PYNNONEN MA, KIM HM, SINGER A, TABOR M, TERREL JE. Probiotics as adjunctive treatment for chronic rhinosinusitis: a randomized controlled trial. *Otolaryngology--head and neck surgery*. 2009 Feb;140(2):202-8.
- [30] NISSLE A. Über die Grundlagen einer neuen ursächlichen Bekämpfung der pathologischen Darmflora. (Fundamentals of a new causal control of the pathologic intestinal flora.) *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 1916;42:1181-4).
- [31] PAOLINO R, CARRATELLI C, SORRENTINO S, et al. Immunomodulatory effects of *Lactobacillus plantarum* on human colon cancer cells. *Int Immunopharmacol* 2009; 9 (11): 1265-1271.
- [32] PARKER RB. Probiotics, the other half of the antibiotic story. *Anim Nutr Health* 1974;29:4-8.
- [33] PAYNE DL, WELSH JD, MANION CV, et al. Effectiveness of milk products in dietary management of lactose malabsorption. *Am J Clin Nutr* 1981; 34: 2711-2715.
- [34] SALMINEN S., ISOLAURI E., OMNELA T.: Gut flora in normal and disordered states. *Chemotherapy*, 1995, 41 (Supl.1), 5-15.
- [35] SAXELIN M. Probiotic Formulation and Applications, the Current Probiotic Market, and Changes in the Marketplace.: A European Perspective. *Clin Infect Dis*. 2008;46, 76-49.
- [36] SAZAWAL S., HIREMETH G., DHINGRA U., MALIK P., DEB S., BLACK RE.: Efficacy of probiotics in prevention of acute diarrhoea: a meta-analysis of masked, randomised, placebo-controlled trials. *Lancet Infect Dis*. 2006 Jun;6(6):374-82.
- [37] SCHANLER RJ. Probiotics and necrotising enterocolitis in premature infants *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2006; 91 (6): 395-397.
- [38] SCHREZENMEIR J, HELLER K, McCUE M, et al. Benefits of oral supplementation with and without synbiotics in young children with acute bacterial infections. *Clin Pediatr(Phila)* 2004; 43: 239-249.
- [39] SCHREZENMEIR J., de VRESE M. Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition *Am J Clin Nutr* February 2001 vol. 73 no. 2 361-364.
- [40] SCHWAB C, GANZLE M. Lactic acid bacteria fermentation of human milk oligosaccharide components, human milk oligosaccharides and galactooligosaccharides. *FEMS Microbiol Lett* 2011; 315 (2): 141-148.



-
- [41] SZAJEWSKA H., MRUKOWICZ J. Probiotics in the treatment and prevention of acute infectious diarrhea in infant and children: a systematic review of published randomized, double-blind, placebo controlled trials. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2001, 33 (Supp 2), 17-25.
- [42] SZAJEWSKA H., SETTY M., MRUKOWICZ J., et al. Probiotics in gastrointestinal disease in children: hard and not-so hard evidence of efficacy. *J. Pediatr Gastroenterol Nutr* 2006, 42 454-475.
- [43] TISSER H. Taxonomy and ecology of bifidobacteria. *Bifidobacteria, Microflora* 1984; 3:11–28.
- [44] URDACI M., BRESSOLLIER P., PINCHUK I.: *Bacillus clausii* Probiotic Strains Antimicrobial and Immunomodulatory Activities *J Clin Gastroenterol* 2004; 38(suppl 2): 86-S90.
- [45] van der VELDEN VH, LAAN MP, BAERT MR, et al. Selective development of a strong Th2 cytokine profile in high-risk children who develop atopy: risk factors and regulatory role of IFN-gamma, IL-4 and IL-10. *Clin Exp Allergy* 2001; 31: 997–1006.
- [46] VRESE M, SCHREZENMEIR J.: Probiotics, Prebiotics and Synbiotics *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 2008; 111: 1–66.
- [47] WACHA J. : A probiotikumok helye az evidencián alapuló orvoslásban. *Metabolizmus*, 2011 (IX), 1. 31-34.
- [48] WACHA J., SZIJÁRTÓ A., KUPCSULIK P.. Prebiotikumok, probiotikumok, szinbiotikumok –Irodalmi áttekintés kontrollált klinikai vizsgálatok elemzése alapján. *Metabolizmus*, 2006/1. 48–53.
- [49] WEIZMAN Z, ASLI G, ALSHEKH A. Effect of a Probiotic Infant Formula on Infections in Child Care Centers: Comparison of Two Probiotic Agents *PEDIATRICS* 2005; 115 (1): 5–9.
- [50] YEO SK, LIONG MT. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity and bioconversion of isoflavones by probiotics in soymilk supplemented with prebiotics. *Int J Food Sci Nutr* 2010; 61 (2): 161–181.

Pártos Sándor¹

KIS VISSZAVERÓ FELÜLETTEL RENDELKEZŐ REPÜLŐESZKÖZÖK DETEKTÁLÁSI LEHETŐSÉGEINEK ÉRTÉKELÉSE²

Manapság egyre jobban kezdenek elterjedni a lopakodó technológiát alkalmazó eszközök a légtérben. A stealth technológia mind repülőket, mind drónok esetében megjelenik. Mivel nem csak katonai, hanem polgári feladatok ellátására is alkalmaznak drónokat, ezért egyre telítettebbé válik a légtér. Ez azért veszélyes, mert köze olyan nehéz ezeknek a céloknak a felderítése, mint egy lopakodó repülőgépnél. A dolgozatomban célja, hogy rávilágítsak ezen eszközök detektálásának a fontosságára és javaslatot tegyen ennek a feladatnak a megoldására. Úgy gondolom, hogy ez mind légvédelmi, mind pedig repülésbiztonsági szempontból fontos lesz a jövőben.

EVALUATION OF THE DETECTION POSSIBILITIES OF AIRCRAFTS WITH LOW RADAR CROSS-SECTION

Aircrafts, using stealth technology, are becoming more and more common in nowadays' airspace. There are either stealth manned and unmanned aircrafts. As the unmanned aerial vehicles are applied not only for military, but civilian duties, therefore the airspace is getting increasingly congested. It is dangerous because the detection of these targets is almost as difficult as the detection of a stealth manned aircraft. The purpose of my work is to highlight the necessity of detecting these aerial vehicles, and to make a proposition, how to solve this problem. My opinion is that my topic is very interesting in the air defence's and air traffic safety's point of view.

BEVEZETÉS

A dolgozat célja, hogy felhívja a figyelmet a lopakodó repülőgépek felderítésének fontosságára. Továbbá a tanulmány bemutat két megoldási lehetőséget. Ismert, hogy a stealth technológiát alkalmazó repülőgépek egyre jobban elterjednek a katonai repülésben, ezért ezen repülőket felderítése a közeljövőben alapvető feladata lesz a légierőnek. Mivel nem csak katonai repülő eszközök esetében alkalmazzák ezt a megoldást, hanem a polgári felhasználású drónok is rendkívül kis radar keresztmetszettel rendelkeznek, ezért véleményem szerint a jelenleginél nagyobb figyelmet kell fordítani erre a területre. Természetesen a katonai repülésen kívül civil szempontból is fontos lehet ezeknek az eszközöknek a detektálása. Mivel a drónok hatásos visszaverő felületük sokkal kisebb, mint a repülőgépeké, hasonlóan viselkednek, mint a lopakodó eszközök. Továbbá ezen eszközök esetében is alkalmazhatják a lopakodó technológiát, ami még jobban megnehezíti a céltárgy detekciót. Ezért véleményem szerint ennek a feladatnak a megoldása nem csak katonai szempontból lenne fontos, hanem a polgári légiközlekedés számára, repülésbiztonsági okokból talán még fontosabb is. Hiszen ezen kisméretű eszközök által egyre telítettebb lesz a légtér, különösen alacsony repülési tartományokban, ahol megnő az

¹ honvédtiszt jelölt, Sanyi9106@freemail.hu

² Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com

esetleges balesetek lehetősége, ha későn, vagy egyáltalán nem észlelik őket. A stealth technológiát alkalmazó repülőgépek felderítése nem lehetetlen, ahogyan azt a történelem már igazolta pl.: a Dél-szláv háború során. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a radar egyenletben szereplő tagok közül a radarhatásos keresztmetszetre, a hullámhosszra, adó és vételi antenna nyereségre illetve a jel-interferencia zaj viszony növelésére kell nagyobb figyelmet fordítani. A Magyar Honvédség radarszázadainál megtalálhatók olyan eszközök, melyekkel bizonyos módosításokkal megoldható lehet a lopakodó repülőgépek a jelenleginél hatékonyabb detektálása. Új módszer az iker radar megoldás, mely segítségével szintén jelentősen csökkenthető ez a probléma. A dolgozatom végén összegezem az általam javasolt lehetőségek előnyeit és hátrányait.

A LÉGTÉRELLENŐRZÉS HARCÁSZATI ÁTTEKINTÉSE

A Magyar Honvédség légierejének fő feladata az ország légterének ellenőrzése és védelme a rendelkezésre álló haditechnikai eszközökkel, mint például rádió lokátor állomásokkal, légvédelmi rakéták és harci repülőgépek segítségével. További feladatok közé tartozik a szárazföldi erők légi támogatása és szállítása szintén harci repülőgépekkel és helikopterekkel. Ezen feladatok elvégzésére a rendelkezésre álló eszközök a RAT-31 DL, az SZT-68U háromdimenziós radarok, továbbá P-37, P-18 és Oborona (P-14) felderítő radarok illetve a PRV-17 magasságmérő radar. A légvédelmi rakéta ezred 2K12 KUB kis hatótávolságú és MISTRAL közeli hatótávolságú légvédelmi radarrendszert használ a feladata elvégzése érdekében. A Magyar Honvédség által légvédelmi feladatok végrehajtása alkalmazhatót repülő eszköz a JAS-39 Gripen típusú negyedik generációs repülőgép.

Mivel Magyarország határa adja a NATO keleti/déli határvonalának egy részét, ezért fontos feladat, hogy az ország határait megközelítő repülőgépek időben detektáljuk, létszámát és pozícióit időben megállapítsuk. Ez nem csak az ország, hanem a NATO számára is alapvető elvárás. A kis visszaverő felülettel rendelkező polgári felhasználású drónok az ország belsejében bárhol megjelenhetnek és a detektálásuk, útvonalba fogásuk alapvető repülésbiztonsági elvárás. A feladatot hagyományos repülő eszközökre vonatkoztatva sikeresen megoldható köszönhetően az új RAT-31 DL típusú háromdimenziós radarrendszernek és a csatlakozó polgári és mobil radar parkunknak. Azonban ezek a radarok alapvetően Gigahertz-es tartományban dolgoznak és detektálják a célokat. Azonban a stealth technológiájú légi célokat nem, vagy csak kis hatásfokkal képesek felderíteni, hiszen ezek esetében még az eddig hatásos méteres hullámokat alkalmazó radarok is továbbfejlesztésre szorulnak. A lopakodó egyre jobban terjedő technológia, hiszen az USA-ban már igen korán, az 1970-es években kifejlesztettek olyan repülőgépeket, melyek radar hatásos keresztmetszete kisebb, mint az átlagos repülőgépeké, vadászrepülőké, és ennek köszönhetően a felderítésük, követésük is nehezebb. A leggyakrabban emlegetett lopakodók az F-117 Nighthawk, a B-2 Spirit, az F-22 Raptor és az F-35 repülőgépek. Napjainkban azonban már a feltörekvő országok, Oroszország, India, Kína, Irán és Franciaország is belekezdtek a hasonló technológia kifejlesztésébe. Ezek közül fontos megemlíteni az oroszok repülőgépét a Sukhoi PAK FA T-50-t, a kínai Chengdu J-20-t és az iráni Qaher-313-t. Alapvetően ezek a repülőgépek már az ötödik generációs repülőgépek közé tartoznak, ahol nagy hangsúlyt fektetnek az aktív lopakodó üzemmódra. Néhány esetben hallani lopakodó UAV-ról melynek nagy a manőverező képessége és a sebessége. Ez a sebesség a repülőgépek

esetében maximálisan közel 2500 km/h, ezért a következő számításokban, mint a légtérelenőrzés számára legproblematisabba ezt az értéket veszem alapul. Ebben az esetben percnként majdnem negyvenkét kilométert tesz meg a repülő eszköz. Alapvetően egy „normál” NATO riasztástól számítva tizenöt percen belül már a levegőben kell lennie a Gripennek. Ez idő alatt a lopakodó hatszázharminc kilométert tehet meg. Tehát ilyen esetben legideálisabb az lenne, ha legalább ekkora távolságból detektálnánk és követésbe vennénk ezeket a repülőgépeket.

RADAR EGYENLET

A kis hatásos visszaverő felülettel rendelkező repülőeszközök esetében az egyenlet néhány tényezőjére különösen nagy hangsúlyt kell fektetni, hiszen ezeknek az értékeknek a változtatásával elérhető, hogy a repülő RCS értéke akár 0,0001 m² legyen. A radar egyenletnek több változata ismert, én a szakdolgozatomban a következőt veszem alapul.

$$R_{MAX} = \sqrt[4]{\frac{P_A G_A F_A^2 T_{PRF}}{4\pi L_A} \cdot \frac{\sigma(\Theta) F_{POL}^2}{4\pi} \cdot \frac{\lambda^2 G_R F_V^2}{4\pi k B T L_V D_O}} \quad (1)$$

ahol:

- P_A – adó átlag teljesítménye;
- G_A – adó antenna nyeresége;
- F_A – adási hullámterjedési tényező;
- T_{PRF} – A koherens jelintegrálás ideje iker radar esetén;
- L_A – adó oldali veszteség;
- σ(Θ) – hatásos visszaverő felület;
- F_{POL} – polarizációs tényező;
- λ – hullámhossz;
- G_R – vevő antenna nyeresége;
- F_V – vételi hullámterjedési tényező;
- k – Boltzmann állandó;
- B – sávzszelesség;
- T – a rendszer zajhőmérséklete;
- L_V – vevő oldali veszteség.

A vevő oldali veszteségek közül fontosnak tartom kiemelni a légköri veszteséget és a földreflexió hatását. A légkör vesztesége a lokátor hatótávolságát csökkenti, a rádióhullámok elnyelődéséből származó csillapítás miatt:

$$R'_{op} = R_{op} / \sqrt{L_1} \quad (2)$$

Ahol L₁ az elnyelődésből adódó egyutas teljesítménycsillapítás

Földreflexió hatása: Sík, jól vezető föld feletti terjedés esetén a közvetlen és a reflektált hullámok erősíthetik vagy gyengíthetik egymást. Ennek következtében a hatótávolság

$$R''_{op} = \left| 2 \sin 2\pi \frac{h_1 h_2}{\lambda R''_{op}} \right| R_{op} \quad (3)$$

Ahol h_1 ill. h_2 a lokátor, ill. a céltárgy antennájának föld feletti magassága.

D_0 (1): Jel- zaj viszony (S/N) adott küszöb értékre vonatkoztatva

Ezek közül a kis hatásos keresztmetszetű céltárgyak detektálásához a legfontosabb paraméterek a hullámhossz, az adó- és vételi antenna nyereség növelése, az adó átlagteljesítmény növelése, a hullámterjedési tényező nyújtotta lehetőségek kihasználása illetve értékelése, a veszteségek csökkentése és a D_0 értékének növelése.

A hatásos visszaverő felület frekvencia függése

„A hatásos visszaverő felület az elektromos mérettől – adott frekvencia tartományban a legtöbb céltárgy esetén erősen függ. Az elektromos méret a szorzat, ami a

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

hullámszámmal definiálható. Az elektromos méret függvényében három tartományt lehet megkülönböztetni a radarkeresztmetszet meghatározásánál.”³

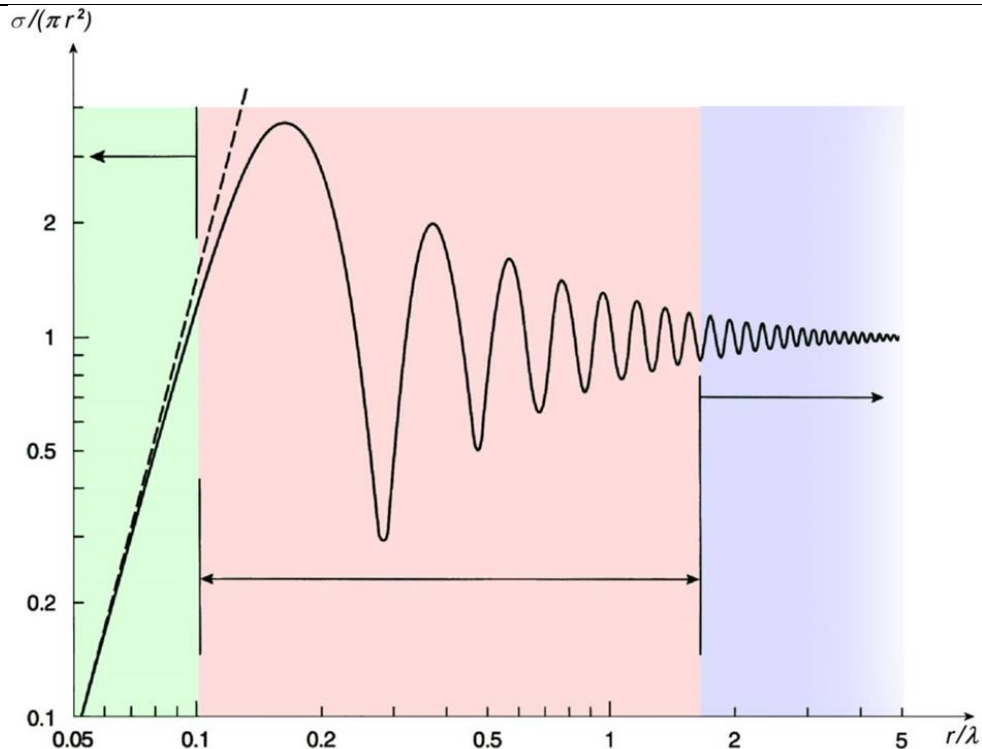
1. „1. Rayleigh-tartomány: Ha a céltárgy lineáris mérete jóval kisebb a hullámhossznál, akkor a reflexiós tulajdonság indukált elektromos és mágneses dipolmomentumból származtatható. megfigyelhető, hogy a σ fordítottan arányos λ^4 -nel, ami a Rayleigh-tartomány jellemzője;
2. rezonanciatartomány: Ha a céltárgy lineáris mérete összemérhető a hullámhosszal, akkor a szórt mezőt létrehozó faláramok szoros csatolásban vannak egymással, a hatásos keresztmetszet hullámhosszfüggése erős. A modellszerkesztés ekkor csak speciális esetekre lehetséges;
3. optikai tartomány: Az optikai tartományban a céltárgy apertúra sugárzóként kezelhető, hatásos keresztmetszete

$$\sigma = A_C G_C \quad (5)$$

képlet alapján számolható ki, ahol A_C a céltárgynak, mint vevőantennának a beeső sugárzás irányában vett hatásos felülete, G_C pedig a céltárgynak, mint adóantennának a vizsgált reflexiós irányban vett nyeresége.”⁴

³ http://hadmernok.hu/archivum/2007/3/2007_3_koncz.pdf

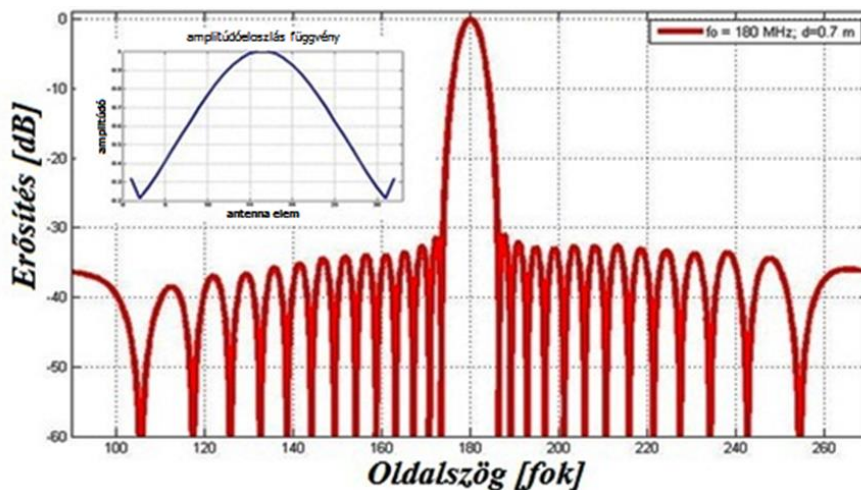
⁴ Dr. Almássy György- dr. Bozsóki István: Mikrohullámú kézikönyv. 11. fejezet Rádiólokátorok. Műszaki könyvkiadó , Budapest, 1973. 917.p



1. ábra Lokátor céltárgy hatásos keresztmetszete a hullámhossz függvényében⁵

Az első és második generációs a stealth technológiát méteres radar segítségével lehet felderíteni. Ez előnyös a Magyar Honvédség számára, hiszen a mobil radarcsoporthoz rendelkezésre állnak ilyen lokátorok. Többek között a P-18 rádiolokátorral, a P-14 Oborona távolfelderítő lokátorral és a P-12 lokátorok P-14 antennával történő alkalmazásával. Ez utóbbit azonban már kivonták a hadrendből bár érdemes megvizsgálni modernizált változataik újra hadrendbe állítását.

Hatásos visszaverő felület



2. ábra VHF radar távolféri iránykarakterisztika⁶

⁵ <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Rayleigh-%20versus%20Mie-Scattering.en.html>

⁶ Dr Balajti István alezredes órai előadása

„Lopakodó technológiát alkalmazó repülőgépet harci körülmények között már sikerrel detektáltak és semmisítettek meg. 1999. Március 27-én a szerbiai Bolgyán település közelében. Dani Zoltán egy P-18-as lokátorral felderített egy F-117 Nighthawk típusú repülőgépet.”⁷ A siker abban rejlett, hogy nem a 150–170 MHz tartományon belüli frekvenciát sugárzott a radar, hanem ennél kisebb frekvencián, pontosan 139,6 MHz-en üzemelt. Ez visszavezethető a radar alapegyenletre, ahol nagy figyelmet kell fordítani a radar üzemeltetési frekvenciájára.

„A céltárgy reflektáló képességét a céltárgy hatásos keresztmetszetével jellemzik. Sík beeső hullám és távoli tér esetében

$$\sigma = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{|E_R|^2}{|E_b|^2} = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{|H_R|^2}{|H_b|^2} \quad (6)$$

Ahol: E_R ill. H_R a szórt térerősség vektor elektromos, ill. mágneses komponense a céltárgytól R távolságra, míg E_b ill. H_b a céltárgy helyén mért beeső értékek. „⁸

Ennek a tényezőnek három összetevője van, amelyek a következők: geometriai keresztmetszet, visszaverő képesség és irányítottság.

Céltárgy esetén a hatásos visszaverő felület a következő tényezőktől függ:

1. „Geometriai keresztmetszet: az a felület, amit a céltárgy a radar felé mutat. Az adó antenna és a céltárgyat összekötő egyenest, mint normálvektort alkalmazva a céltárgy normál felületét képezzük (vetített felület). Az A geometriai keresztmetszet megmutatja a tér adott pontján S teljesítmény sűrűségből, mekkorát jut a célpontra:

$$P_i = AS$$

(7)

Az S teljesítmény sűrűség a radar által kisugárzott teljesítménytől (is) függ.

2. Visszaverő képesség: A visszaverő képesség az a viszonyszám, ami megmutatja tárgy által elnyelt teljesítmény és a visszavert teljesítmény viszonyát (a tér minden irányába). A vissza nem vett teljesítményt a céltárgy eldisszipálja (radar elnyelő anyagok alkalmazásával növelhető, RAS, Radar Absorbent Structures). Az R visszaverő képesség megmutatja a P_s visszavert és P_i elnyelt teljesítmény viszonyát.

$$R = \frac{P_s}{P_i} \quad (8)$$

3. Irányítottság: A vevő antenna irányába egységnyi térszögre eső visszavert teljesítmény és az egységnyi térszögre viszonyított összes visszavert teljesítmény aránya.

$$D = \frac{P_{bs}}{P_s \left(\frac{1}{4\pi} \right)} \quad (9)$$

Ahol: D az irányítottság, a P_{bs} a vevő irányába visszavert teljesítmény, a P_s az összes visszavert teljesítmény.

⁷ <http://www.jetfly.hu/rovatok/jetfly/mitoszrombolo/>

⁸ Dr. Almássy György- dr. Bozsóki István: Mikrohullámú kézikönyv. 11. fejezet Rádiolokátorok. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1973. 917.p.



A fentiek alapján:

$$\sigma = ARD = A \frac{P_s}{AS} \frac{\frac{P_{bs}}{1}}{\left(\frac{1}{4\pi}\right)P_s} = 4\pi \frac{P_{bs}}{S} \quad (10)$$

A hatásos visszaverő felület mértékegysége a m² vagy logaritmikus mértékegységben az 1 m² felületre vonatkoztatott dBm², ami ugyanaz, mint az angolszász irodalomban a dBsm (deci Bell square meter)⁹

ELJÁRÁSOK A LOPAKODÓ TECHNOLÓGIÁVAL RENDELKEZŐ REPÜLŐ ESZKÖZÖK DETEKTÁLÁSÁRA ÉS KÖVETÉSÉRE

A céltárgydetektálást javító lehetőségek

Az előző pont eredményeit felhasználva viszonyítási alapként a vizsgált alrendszer paraméterek („Blake chart”) megváltoztatásával meghatározható az adott radarparaméter által elérhető céltárgy detektálás javulás.

Frekvenciatartomány, céltárgytipusok (NJ-aktív zavar) és RCS

R_{max} [%/(km)] ha: P_d=0,8; P_{fa}=10⁻⁶						
RCS	“S” (ha β=1,5° PRF=300)		“L” ha β=1,5° PRF=300		“VHF” (ha β=6,4° PRF=150)	
	Sw0	Sw1	Sw0	Sw1	Sw0	Sw1
σ=0,0001 m²	28,34	20,85	35,69	26,25	38,58	28,33

1. táblázat Frekvenciatartomány, céltárgytipusok (NJ-aktív zavar) és RCS

3 hullámsáv egyidejű üzemeltetésének előnyei:

- kihasználható a különböző hullámtartományok nyújtotta hullámterjedési,
- céltárgy detekció és radar típusfüggő ECCM képességek.

3 hullámsáv egyidejű üzemeltetésének hátrányai:

- Összetett és költséges a rendszer kialakítása valamint a hozzá kapcsolódó logisztika.

A vaklármá-valószínűség növekedésének engedélyezése

R_{max} [% (km)] ha: P_d=0,8; Sw1; σ=1 m²			
	“S” ha β=1.5° PRF=300	“L” ha β=1.5°PRF=300	“VHF” ha β=6.4° PRF=150
P_{fa}=10⁻⁷	187,22	237,18	259,78
P_{fa}= 10⁻²	240,57	305,17	334,36

2. táblázat. A vaklármá-valószínűség növekedésének engedélyezése

- A módszer előnyei: A vaklármá-valószínűség 10⁻⁷-ről 10⁻²-ra növekedésének engedélyezésével bizonyos %-kal a céltárgy-detektálási távolsága nőhet. A szükséges számítástechnikai kapacitások olcsón rendelkezésre állnak.

⁹ http://hadmernok.hu/archivum/2007/3/2007_3_koncz.pdf



- A módszer hátrányai: A hamis útvonalak kialakulásának valószínűsége megnő, melyek kézben tartásához új útvonalképző algoritmusok szükségesek.

Detekciós valószínűség csökkenésének hatása

R_{max} [% (km)] ha: P_{fa}=10⁻⁶; Sw1; σ=1 m²			
	“S” ha β=1,5° PRF=300	“L” ha β=1,5° RF=300	“VHF” ha β=6,4° PRF=150
P_d=0,9	161,28	204,16	223,49
P_d=0,1	342,92	435,76	477,22

3. táblázat. Detekciós valószínűség csökkenésének hatása

- A módszer előnyei: A detekciós valószínűség csökkenésével, jelentősen növelhető a céltárgy-detektálási távolság.
- A módszer hátrányai: A céltárgy fluktuációból eredő veszteségek, a hamis útvonalak kialakulásának valószínűsége megnő, mely új CFAR, plot- és útvonalképzők kidolgozását várja el

Az adóteljesítmény növelése

R_{max} [% (km)] ha: P_d=0,8; P_{fa}=10⁻⁶; Sw1; σ=1 m²			
	“S” (ha β=1,5° PRF=300)	“L” (ha β=1,5° PRF=300)	“VHF” (ha β=6,4° PRF=150)
P_{imp}=30 kW	170,66	216,1	236,61
P_{imp}=75 kW	212,8	269,8	295,58
P_{imp}=150 kW	251,84	319,56	350,11

4. táblázat Az adóteljesítmény növelése

A módszer előnye:

- jelentős mértékben növelhető az R_{max}.

A módszer hátránya:

- az adórendszer nagy teljesítményű részeit érinti, ezért nagyon költséges.

A területapogátás sebességének csökkenése:

A módszer előnyei:

- a területapogátás sebességének csökkentésével jelentős mértékben növelhető a céltárgyak detektálása (R_{max});
- a nagy SINR miatt a céltárgyak útvonal karbantartása kevésbé problematikus, mint alacsony P_d esetén.

A módszer hátrányai:

- A ritkább adatfrissítés miatt a manőverező célok adatfrissítése problematikusává válik.

Több vivőfrekvencia alkalmazása

- A módszer előnye: Jelentős mértékben növelhető az R_{max}.

A módszer hátrányai:

- összetett, az adórendszert is érinti, így költséges a megvalósítása.
- alacsony P_d esetén a fluktuációs veszteségek nőnek.

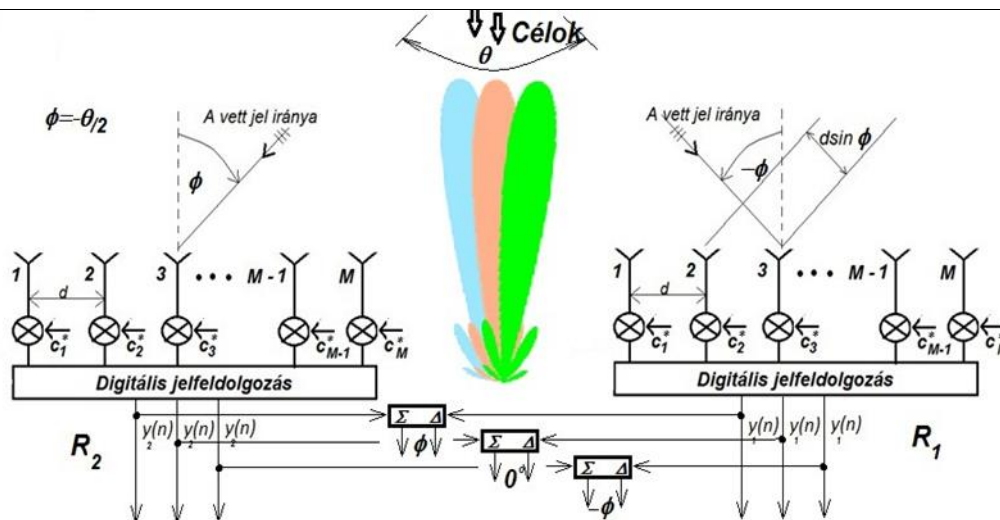
Frekvencia üzemmód kiterjesztés

Ezek a radarok mind méteres hullámhossz tartományban üzemeltethetőek, alapvetően a 150-170 MHz frekvencia környékén üzemel (a pontos adatok bizalmasok), ami nem teljesen fedi le azt a tartományt ahol a lopakodók felderíthetők. Véleményem szerint egy olyan berendezéssel kellene megoldani ezt a problémát, amit egy órajel generátor vezérel és kiterjeszti a radarok üzemi frekvencia tartományát. Ez automatikusan átállítja a radart arra a frekvenciára, mely előre meghatározott időközönként a lopakodó felderítésére már bizonyítottan alkalmas frekvencián sugároz. Az időközök és a vizsgálni kívánt frekvencia tartományok véletlen időközönként kapcsolnak be minden más esetben a radar üzemi frekvencián működik. Így lényegében ezek a radarok is képesek jelentősen növelni a folyamatos légi helyzet adatok mi-nőségét. Elhelyezés szempontjából célszerű közel telepíteni néhányat a Bánkúti és a Békéscsabai RAT-31 DL radarokhoz. Ha a méteres hullámhosszat alkalmazó radar indikátorán nem jelenne meg cél az nyilván azt jelentené, hogy nincs lopakodó típusú légi cél a térségben. Abban az esetben, ha lenne akkor a többi „méteres” radar is átállna automatikusan arra a frekvenciára és onnantól kezdve folyamatosan azon a frekvencián dolgoznának. Ezáltal megoldható, hogy egyszerre kapnánk információt mind a közeledő lopakodóról mind pedig a további repülőeszközökről. Ez a megoldás természetesen tovább bővíthető, ha majd a medinai RAT-31 DL is hadrendbe áll.

Továbbá azzal, hogy a méteres radarok is közel lennének egymáshoz megnövekedhetne azon területek mértéke, melyek többszörös átfedésben vannak. Így a vak-lármák száma is csökkenne és a pályavesztési valószínűség is lecsökkenne. A korábban már említett 630 km-es távolságból való detektálás tizenöt percre volt vonatkoztatva, azonban ez az érték lecsökkenthető hét perc körüli értékre. Ebben az esetben a távolság máris 294 kilométerre csökken. Ezt azért tartom fontosnak, mert megnő azon területek száma, ahová a lokátorokat el lehetne helyezni. Figyelembe kell venni azoknak a területeknek a tengerszint feletti magasságát ahová el lehetne helyezni ezeket a lokátorokat, mivel az országot körülölelő Kárpát-medence megnehezíti a felderítést. Véleményem szerint az egyik lehetőség a határtól körülbelül 140 kilométerre lévő Bánkút, ami azért lenne jó lehetőség, mert a közelben ez az egyik legmagasabb pont. Ebben az esetben körülbelül 334 kilométer távolságban kellene detektálni a célpontokat, ellenben az előny az, hogy a lokátor 930 méter magasban lenne elhelyezve a tengerszint felett. Ha azonban közvetlenül a határ mellé helyeznének el egy radart akkor a detektálási távolság máris vissza-csökkenne 294 kilométerre, de a környék tengerszint feletti magassága kicsivel több mint 100 méter. A Kárpátok magassága a közeli területeken túllépi a 2000 méteres magasságot. Ha átlagosan 2000 méteres magassággal számolunk, akkor a Bánkúton elhelyezett radar 280 kilométer távolságban lenne a Hoverlaj hegycsúctól, ami 2065 méter, ebből következően a kihelyezett lokátor a vízszintestől számított.

Ikerradar

Ezekén kívül egy másik megoldás lehetne a detektálásra az, ha ikerradaros megoldást alkalmazunk. Ikerradar esetében alapvetően az a két féle megoldás lehetséges, ha két azonos típusú radart alkalmazunk, vagy a másik, ha különbözőeket.



3. ábra Iker lineáris antennarács felépítési elve

A rádiólokátorokat az antenna, mint térbeli szűrő alapvetően befolyásolja. Az antennák geometriai elhelyezése, a „kiterjesztett apertúra” alkalmazásfüggő, az antennanyereség valamint az adás-vételi irány karakterisztika elvárásaihoz igazodik. A 3. ábrán bemutatott iker apertúra kialakítás egymást részben átfedő nyalábokkal maximalizálja a koherens jelfeldolgozás impulzus stabilitásra vonatkozó elvárások teljesíthetőségét.

Magasabb frekvenciákon kis antennamérettel nagy antennanyereség és szögfelbontás érhető el, míg alacsony frekvenciákon pl. a „VHF” frekvenciasávban jelentős antennanyereséghez, és irányélességi szögjavuláshoz nagy antennaméretre van szükség és ez jelentősen behatárolja alkalmazhatóságukat. Változatlan adóteljesítmény mellett a céltárgy detekciós valószínűsége növekedhet legalább 40%-kal, mivel a közös antennák miatt az antennaerősítés úgy adásra, mint vételre 3 dB-lel megnő. $P_{\text{átlag}}=2,25 \text{ kW}$; $G_T=26,5\text{dB}$; $G_R=30,5\text{dB}$, paraméterekkel a Sw1 típusú 1 m^2 cél a 3. ábra szerint detektálható (3 m^2 cél esetén $R_{\text{max}}= 817 \text{ km}$ -re növekszik. Ismert, hogy ugyanaz a céltárgy a VHF frekvencián 5-10 dB- lel nagyobb hatásos visszaverő felülettel radar keresztmetszettel rendelkezik, mint az L (D) sávban.)

Az iker VHF radar koncepció további előnye a radar megnövekedett:

- felbontása;
- mérési pontossága;
- útvonalképzés / illetve fenntartási képesség;
- álló cél és aktív zavarvédelem;
- túlélőképesség és rendelkezésre állás.

ÖSSZEFOGLALÁS

A hadtudomány legfontosabb témakörei közzé tartozik a hadszíntérről származó valós idejű ismeret biztosításának kérdésköre. Az értekezésem témája a légtér szuverenitásáért felelős légtérel ellenőrző rádiólokátorok performanciája, a hatékonyság, a hadrafoghatóság növelésének lehetőségei és a kutatásaim által perspektivikusnak ítélt megoldások megvalósíthatóságának elméleti és „in-situ” méréseken keresztül történő bizonyítása.

A gyorsuló technológiai fejlődés légtér-ellenőrzésre gyakorolt hatása, párosulva a políti-kai/gazdasági tényezők légtér-szuverenitással kapcsolatos változásaival rendkívüli mértékben felértékelik az új típusú fenyegetettségekkel szemben valós időben megbízható ismereteket szolgáltató új módszereket. Napjainkban a hálózatközpontú megközelítés, megfelelő szoftver-algoritmuskok és -szűrők alkalmas megoldásaival támogatott döntés-előkészítés, döntés-támogatás az IT-alapú rendszereknél, a hálózaton rendelkezésre álló nagy mennyiségű információ feldolgozásával, a megnövekedett processzorteljesítmények, valamint a gyors és olcsó hálózati eszközök (beleértve a wireless eszközöket is) elterjedésével új lehetőségeket kínálnak a legbonyolultabb légtér-ellenőrzési feladatok megoldására. A megvalósításra ajánlott két megoldás előnye, hogy jelentősen kiterjeszti a radaradatok minőségi feldolgozhatóságának körét különös tekintettel a kis radarkeresztszettel rendelkező céltárgyakra. Az első javaslat előnye, hogy aránylag gyorsan és olcsón megvalósítható, míg a második javaslat komplexebb így költségesebb megközelítést igényel.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] http://hadmernok.hu/archivum/2007/3/2007_3_koncz.pdf
- [2] Dr. Almássy György- dr. Bozsóki István: Mikrohullámú kézikönyv. 11. fejezet Rádiólokátorok. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1973. 917.p.
- [3] <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Rayleigh-%20versus%20Mie-Scattering.en.html>
- [4] Dr Balajti István alezredes órai előadása
- [5] <http://www.jetfly.hu/rovatok/jetfly/mitoszrombolo/>
- [6] Dr. Almássy György- dr. Bozsóki István: Mikrohullámú kézikönyv. 11. fejezet Rádiólokátorok. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1973. 917.p.
- [7] http://hadmernok.hu/archivum/2007/3/2007_3_koncz.pdf.
- [8] Dr. Balajti István alezredes órai előadása

Szabó Sándor András¹

MEDEVAC (LÉGI EGÉSZSÉGÜGYI KIÜRÍTÉS) LEHETŐSÉGEI UAV (PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ) MŰVELETEKBEN²³

A pilóta vezette légi járművek felhasználása a harctéri sérültek kimentésében és biztonságos területre szállításában jelentős fejlődést ért el a II. világháború óta. A pilóta által vezetett repülőgépek légi kiürítő képessége, az egészségügyi szakszemélyzet és a felhasznált egészségügyi szakanyagok minőségi követelmény rendszere standardizált, de sokba kerül. Alternatívaként a NATO Tudományos Technológiai Ügynökség tanulmányozza a pilóta nélküli légi járművek alkalmazhatóságát a légi egészségügyi kiürítés bizonyos fázisaiban, korlátozott kapacitás igény esetén olyan esetekben, amikor az állapot stabilizálás és gyorsaság az elsődleges szempont. Ennek indikációit, lehetőségeit tekintjük át, elsősorban a technikai lehetőségek ismertetésével, röviden kitérve az UAV operátor felelősségére és elvárt kompetencia szintjére is.

POSSIBILITY OF AIREVAC OPERATIONS PERFORMED BY UAV SYSTEMS

Piloted aircrafts are widely used in search and rescue operations in theatre and in aeromedical evacuation deployments as well since WWII. The AIREVAC capacity of dedicated aircrafts flown by military pilots is well defined posing huge financial burden on responsible nations regarding the full process of medical training, broad scale of medical equipments and the continuous quick response alert requirement of medical staff. As a developing option the NATO Science and Technology Organization has started a study about the possible deployment of UAVs for medical evacuation purposes, in certain critical phases of transport when the capacity is limited and stabilization and rapid transfer have the highest priority. We are going to discuss the indication for UAV flights, mainly focusing on technical details, but touching the responsibility and competency level of UAV operators as well.

BEVEZETÉS

A katonai repülés fejlődésében és az egészségügyi biztosítás rendszerében viszonylag hamar jelentkezett a sérült katonák mielőbbi, biztonságos hátraszállításának igényéből fakadóan a gyors repülőeszközök felhasználása nem-katonai, hanem elsősorban mentési célokból. Napjainkban nemcsak katonai műveletek, de humanitárius katasztrófák kapcsán, egészségvédelmi célból is előnyben részesítik a döntéshozók a jól felszerelt, biztonságos légi járművek alkalmazását. A légi egészségügyi kiürítés vált az „arany standarddá”, a katasztrófa egészségügyi és háborús katonai orvosi ellátás (pl. afganisztáni hadszíntér) számos időnormáját a légi kiürítő eszközök kapacitásához, hatótávolságához, gyorsaságához igazítják, ezt tekintik etalonnak, amihez a földi egészségügyi kapacitás és beavatkozási szint is igazodik az egyes ellátó szakaszokon.

A kisebb forró háborúkban kialakultak a harctéri légi kutató-mentő szolgálatok illetve a légi

¹ o. alezredes, Intézetvezető főorvos helyettese, MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet, sasi19620@gmail.com

² Új Széchenyi Terv: TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat; "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások". Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata

³ Lektorálta: Dr. Dunai Pál alezredes PhD, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, egyetemi docens, dunai.pal@uni-nke.hu

kiürítési kapacitások, amelyek harctéren, hadszíntéren és stratégiai szinten biztosították a katonák, sérültek nagytömegű kimentését és biztonságos hátraszállítását a kitelepült harctéri egészségügyi ellátó létesítményekbe („tábori kórházakba”) illetve a hátszói, honi katonai kórházakba. A többnemzeti hadműveletek maguk után vonták az alkalmazott egészségügyi haderő követelmény rendszerének standardizálását: ma már NATO egységes védelmi előírásokban⁴ rögzített az a képesség és kapacitás szint, amelyet a többnemzeti erők alkalmazása során el kell érni. Ez anyagilag igen jelentős teher a résztvevő nemzetek számára, mind a kiképzés teljes spektrumát, mind az anyagi-technikai eszközök széles skáláját, mind a folyamatos készütségben lévő egészségügyi szakszemélyzet fenntartását tekintve. Ezen túlmenően a légi kiürítésre dedikált légijárművek speciális légijártasságának fenntartása, a készenléti ügyletet adó repülőhajó állomány készütségi szintjének fenntartása is komoly költségtényező.

A légierők stratégiai koncepciójának hosszútávú fejlődésében új irányt nyitott a pilóta nélküli légijárművek rendszeresítése és fejlesztése: míg például az Amerikai Hadsereg 2001 októberében 54 UAV eszközzel kezdte meg a harci műveleteket Hunter és Shadow típusokon, addig ma **csak az US Army több mint 4000**, különböző méretű és képességű UAS⁵ platformot alkalmaz. A tapasztalatok alapján megszülettek azok a stratégiai elképzelések, amelyek gyökeresen új irányt szabnak a repülőeszközök alkalmazásának, új képességek költséghatékony kialakítását teszi lehetővé.⁶ Ez utóbbi egyértelmű: az UAV légijármű építésének, üzemeltetésének tényleges költsége nagyságrendekkel kisebb, mint a 4–5. generációs harci gépeké. Az egyik legátfogóbb erre vonatkozó tanulmány az amerikai hadsereg UAS Kiválósági Központjában készült el, ahol 2035-ig fejtettek ki nagy ívű elképzelést az UAV platformok harci alkalmazásáról⁷.

Az új repülőeszköz alkalmazási lehetőségeinek bővítésekor szintén felmerült az élőerő védelem, az egészségügyi kiürítés koncepciójába ágyazottan. Ennek sajátos alkalmazási területe elsősorban a fokozottan veszélyes frontvonalból történő evakuáció (SAR)⁸ illetve az állapotstabilizálás után a gyors és célzott hátraszállítás a települt egészségügyi ellátó helyekre.

Az erre a célra fejlesztett repülőeszközök többcélú (háborús hadműveleti, illetve természeti és humanitárius katasztrófa helyzetekre vonatkozó) felhasználási lehetőségét a NATO STO⁹ kutatási szervezetének külön munkacsoportja vizsgálja, törekvéseit a standardizációs szervezetekkel is koordinálja.

⁴ Standardization Agreement (STANAG): NATO Egységes Védelmi Előírás

⁵ UAS: Unmanned Aerial System, Pilóta nélküli Repülési Rendszer

⁶ Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS): Közös képességek Integrációja és Fejlesztési Rendszere

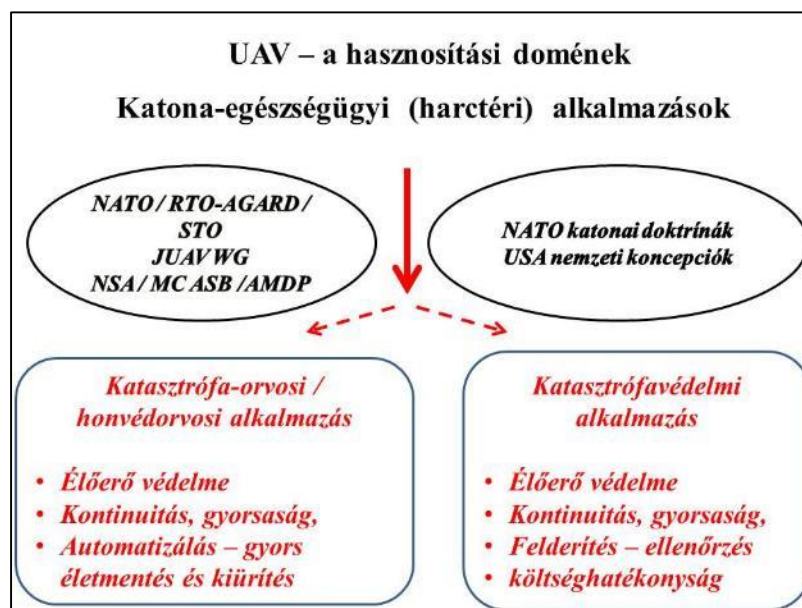
⁷ „Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap>, (2013.02.25)

⁸ SAR: Search and Rescue: kutatás és mentés műveletek

⁹ STO: NATO Science and Technology Organization - Tudományos és Technológiai Szervezet a NATO-n belül (korábban RTO-AGARD - Kutatási és Technológiai Szervezet)

A hagyományos standardizációs tevékenység (JUAV¹⁰, a NSA-MC¹¹ ASB-AMDP¹² illetve a NATO egészségügyi doktrinális rendszer is egyre nagyobb hangsúlyt fektet a NATO Alapokmány „nem V. cikkely szerinti” – humanitárius és katasztrófa ellátási és segítségnyújtási – alkalmazásokra, hiszen az alapelvek azonosak. (1. ábra) Az egészségügyi és műszaki szakértők feladata lehetőleg közös standardok létrehozása. Ezek a standardok rögzítenék, hogy a kialakított fedélzeti eszköztár az automatizáció magas fokán biztosítsa az elsődleges sürgősségi ellátást, állapot felmérést és stabilizálást, majd – figyelembe véve a szállítandó sérült-beteg rossz egészségi állapotát -, lehetőleg atraumatikus módon, a repüléséletteni stresszor (oxigénhiány, túlterhelés, mozgásbetegség) tényezőinek minimalizálásával biztosítsa az egészségügyi ellátóhelyre történő biztonságos szállítást. Ugyanezek a szakmai testületek vizsgálják a pilótával és UAV-val végrehajtott bevetések minőségi követelményeit is, a haszon (előny) – kockázat mérlegelésével.

A kérdés a technikai (és egészségügyi ellátói) lehetőségek fejlődésével ma már úgy tehető fel: a pilóta vezette „hagyományos” légi kiürítő eszközöké (pilótás MEDEVAC) vagy a távolból irányított (kellő egészségügyi alapkiképzéssel rendelkező operátor által vezérelt, telemedicinális képességekkel kiegészült) UAV kiürítő légi járművéké (UAV AIREVAC¹³ vagy CASEVAC¹⁴) a jövő?



1. ábra UAV rendszerek katona-egészségügyi hasznosításának lehetőségei

¹⁰ JUAV: Joint (összhaderőnemi) UAV munkacsoport

¹¹ NSA MC – NATO Katonai Bizottság (Military Committee) alá rendelt Standardizációs Ügynökség (Standardization Agency)

¹² ASB-AMDP: Air Standardization Board Aeromedical Panel Légügyi Standardizációs Testület Repülőorvosi Munkacsoport

¹³ AIREVAC: Air Evacuation - légi kiürítés NATO terminológia szerint.

¹⁴ CASEVAC: Casualty Evacuation – sérült kiürítés taktikai szinten



PILÓTA VEZETTE LÉGIJÁRMŰVEK MEDEVAC ALKALMAZÁSA

Történeti áttekintés

A háborús körülmények közötti légimentés és kiürítés lehetősége és életképessége már az I. világháborúban megmutatkozott: a franciák 6 repülőgépből álló légimentő flottát szerveztek, melyek mindegyike 3–3 hordágyat volt képes szállítani. A Rif háború (1925-1927) alatt 1200 sérültet szállítottak el a marokkói Atlasz hegyvidék övezetéből. 1919-ben a brit Királyi Légierő a Szomáliföldön folyó háború során a sérülteket DH-9 repülőgép törzsében elhelyezett hordágyakon szállította el. Az USA-ban az első légimentő a Gosman százados által Pensacola mellett (Florida) konstruált repülőgép volt 1910-ben, de a fejlesztéshez nem kapott támogatást. A világháború után Nelson Driver őrnagy és William Ocker százados az American Air Service¹⁵ számára egy JN4 fülkéjének hátsó részét tették alkalmassá hordágyak szállítására. Ennek ellenére az Amerikai Hadsereg nagyon sokáig csak sürgősségi alapon, esetlegesen vette igénybe ezt a lehetőséget. Az első tömeges légi egészségügyi kiürítés a spanyol polgárháborúban történt: a német Kondor Légión JU-52-es repülőgépekkel szállította haza a sérült és beteg katonákat úgy, hogy mindegyik repülőgépen, 10 hordágyon fekvő súlyos, és 2-8 könnyebb járóbeteg lehetett elhelyezni. Az útvonal a Földközi-tenger fölött vezetett Észak-Itáliába, utána az Alpok fölött 18 000 láb¹⁶ magasságban. Az 1350–1600 mérföldes¹⁷ út 10 óráig tartott, a nagy magasságban a fedélzeti fűtés hiánya miatt az extrém hideg komoly megterhelést jelentett a sérülteknek.

A II. világháború során a nemzetek kialakították saját légi kiürítő rendszerüket. Az US Army Air Corps¹⁸ önálló légi kiürítő zászlóaljakat szervezett és kiképző iskolát hozott létre 1942-ben. A Légi Szállító Parancsnokság csapatszallítói hajtották végre a páciensek visszaszállítását a CONUS-ra¹⁹, a háború végére a betegek és sebesültek létszáma elérte az 1,25 millió főt.

A koreai háborúban (1950–53) a helikopterek tömeges alkalmazása köszöntött be. Elsődleges eszközzé váltak a légi kiürítésben is, a harcmező és az első egészségügyi ellátó létesítmény között, illetve a kórházhajóra szállítás során. 1954-ig az US Air Force Military Air Transport Service²⁰ több mint 2 millió páciens szállítását hajtotta végre. A helikopteres légi kiürítő képesség a Vietnami háborúban tetőzött: 1965–1973 között a harci kutatás-mentés és a légi egészségügyi kiürítés egységes láncolatot alkotott, ami jelentősen csökkentette a harctéri halálozást: míg a II. világháborúban az egészségügyi létesítményeket elérők 4%-a még menthetetlen volt, a koreai háborúban ez 2%-ra csökkent, a Vietnami háborúban tovább feleződött. A teljes túlélési ráta pedig ennek köszönhetően a II. világháborúban észlelt 69,7%-ról Afganisztánban már 89,9%-ra nőtt.²¹

¹⁵ Amerikai Légi Szolgálat, a légierő előfutára

¹⁶ 18 ezer láb kb. 5500 méter, ahol a légköri nyomás (és az oxigén kínálat) már feleződik

¹⁷ 2430-2880 km

¹⁸ Amerikai Hadsereg Légi Hadtest, tkp. a légierő, mint önálló haderőnem

¹⁹ CONUS: Continental US: az USA szárazföldi területe, hátországa

²⁰ Katonai Légi Szállító Szolgálat

²¹ STO-MP-HFM-231 Unmanned Aircraft Systems for Casualty Evacuation - What Needs to be Done – Tudományos és Technológiai Szervezet Kutatási programja.

A NATO MEDEVAC lehetőségei napjainkban

A Szövetség egészségügyi biztosítási rendszerének feladata mind a bonyolult légi (repülő) műveletek, mind a szárazföldi és egyéb komponens által végrehajtott, illetve a kombinált műveletek folyamatos támogatása. Ezen rendszer egyik legfontosabb eleme a légi egészségügyi kiürítés (AE), mely gyors és hatékony kapcsolódást biztosít a sérülés helyszíne és a különböző szintű egészségügyi ellátó szintek között., ezzel biztosítva a sérültek/betegek időbeni ellátását és a legjobb gyógykezelési eredmény elérését. Az egészségügyi ellátáshoz hasonlóan a légi egészségügyi kiürítést a hét minden napján, a nap mind a 24 órájában biztosítani kell, amennyiben a repülés feltételei adottak.

Alapvetően a légi-egészségügyi kiürítés a sérültek és/vagy betegek **egészségügyi felügyelet mellett**, az egészségügyi ellátó intézményekbe irányuló és azok közötti, légi szállító eszközökkel, a kezelési folyamat integrált részeként történő mozgását jelenti. A légi-egészségügyi kiürítés köti össze az egészségügyi ellátás számos elemét, s alapesetben kulcsfontosságú kapocs a hadszíntérről a ROLE-4-es (hátszázgi központi kórház) ellátó szintjére küldendő sérültek és/vagy betegek számára²².

A fent részletezett dinamikus javulás a harctéri sérülések túlélésében természetesen a technikai lehetőségek javulásának, a NATO-n belüli standardizációnak (STANAG 3204 a Légi Egészségügyi Kiürítésről) és az egyértelműbb, gyors irányítási műveleti C3²³ struktúrának is köszönhető, amely a NATO-n belül gyors operatív rendszert alkot.

Az egységes elvek az egészségügyi ellátási szintre, a prioritásra (sürgősségi szintek meghatározására), a szükséges szakszemélyzetre vonatkoznak és a Magyar Honvédség által is elfogadott **STANAG 3204 „Légi egészségügyi kiürítés”** Egységes Védelmi Előírásban szabályozott. Fenntartással élünk az elkülönítést és speciális járványügyi rendszabályokat igénylő, súlyosan fertőző beteg kiürítését illetően, erre ma csak az Amerikai és a Brit Királyi légierő rendelkezik dedikált eszközökkel. Az egészségügyi szakfelszerelés összetételét, mennyiségét szintén Védelmi előírások, **STANAG 3744-3745** szabályozzák. (Egészségügyi felszerelés illetve Egészségügyi kiképzés minimum követelményei (harci) kutató-mentő repülőgépek fedélzetén.)

A légi egészségügyi kiürítés formái:

- előretolt légi egészségügyi kiürítés (Forward AE) a sérültek/betegek egészségügyi felügyelettel történő légi kiürítését jelenti a sérülés helyszínéről az első egészségügyi ellátó helyig a harci zónán belül;
- harcászati/taktikai légi egészségügyi kiürítés (Tactical AE) a betegek/sérültek egészségügyi felügyelettel történő légi kiürítése az egészségügyi ellátó intézmények között a harci zónán kívülre a műveleti/hadműveleti területen belül;
- hadászati/stratégiai légi egészségügyi kiürítés (Strategic AE) a betegek/sérültek egészségügyi felügyelettel történő légi kiürítése műveleti/hadműveleti területről honi területre, más NATO országokba vagy ideiglenes biztonsági területre.

²² Svéd,L: A tervezéstől a műveletig. ZMNE 2008, 231.o.

²³ Command-Controll-Communication: utasítás, ellenőrzés és kommunikáció rendje



A légi egészségügyi kiürítő rendszer működéséhez szükségesek olyan speciális egészségügyi ellátó helyek, melyek biztosítják a légi egészségügyi kiürítés folyamatában a sérültek folyamatos felügyeletét, egészségügyi ellátását a kiürítések fázisai között:

- átmeneti sebesültellátó hely (továbbiakban Casualty Staging Unit, CSU) feladata a légi egészségügyi kiürítésre előkészített betegek/sérültek ellátása egészségügyi személyzet felügyelete mellett;
- átmeneti sebesültellátó létesítmény, „kórház” (továbbiakban In-Transit Evacuation Facility, IEF). a nemzeti egészségügyi kiürítés számára megnövelhető fektető kapacitással rendelkező egészségügyi intézmény, mely rendelkezik az átmeneti sebesültellátó egészségügyi hely összes funkciójával.

A légi egészségügyi kiürítést befolyásoló tényezők²⁴

Betegek kiürítés előtti osztályozása, mely magában foglalja a kiürítés prioritása, a beavatkozási szint, illetve a sérültek elmeállapot/mobilizálás típusa szerinti osztályozását.

I. Kiürítési prioritás szerint:

P 1: Sürgős (Súlyos, életveszélyes)

Olyan sérültek, akiknek amilyen gyorsan csak lehet (Fw AE esetén az első értesítéstől számítva 60 percen belüli) szállításra van szükségük az élet, szem vagy végtag megmentése érdekében, a súlyos komplikációk megelőzése illetve rokkantság elkerülése miatt.

P 2: Elsőbbséggel (Súlyos)

Olyan sérültek, akik részére helyileg nem biztosítható a megfelelő szintű egészségügyi ellátás és ha nem kerülnek kiürítésre 24 órán belül (Fw AE esetén a MEDEVAC 9 soros leadását követően 4 órán belül), felesleges fájdalmat vagy rokkantságot szenvednek.

P 3: Rutin

Azon betegek, akik számára az azonnali megfelelő kezelés követelményei helyileg elérhetők, de akiknek állapotában jelentős javulás várható a normál légi egészségügyi kiürítés esetén 72 órán belüli (Fw AE esetén a MEDEVAC 9 soros leadását követően 24 órán belüli) szállítással.

II. Beavatkozási szint szerint:

D1 szint: Magas

Olyan sérült, beteg, akinek intenzív betegellátásra van szüksége, például a folyamatosan lélegeztetett, centrális vénás nyomás és cardiálisan monitorozott beteg.

D2 szint: Közepes

Olyan beteg, akinek nincs szüksége intenzív betegellátásra, de folyamatos, szoros betegkövetést igényel. Ilyen betegnél az élettani paraméterek monitorozása szintén elengedhetetlen, mert repülés közben állapota romolhat. Ebbe a csoportba tartozik például az olyan sérült, aki a repülés ideje alatt kombinált terápiára szorul (oxigén terápia, egy vagy több infúzió, katéter, drain).

²⁴ STANAG 3204., 1. melléklet alapján

D3 szint: Alacsony

Olyan beteg, akinek állapota a repülés ideje alatt valószínűleg nem romlik, de egészségügyi megfigyelése indokolt, mert egyszerű oxigén terápiában részesül, intravénás infúziót kap és/vagy hólyag katéterrel rendelkezik.

D4 szint: Minimális

Olyan sérült, beteg, aki repülés alatt nem igényel egészségügyi megfigyelést, de mozgásához, saját higiénés szükségleteihez segítségre van szüksége.

III. Típus (a sérültek elmeállapot/mobilizálás szintje) szerint**1. osztály – Neuropszichiátriai betegek:****1) 1A osztály – Súlyos pszichiátriai beteg (FEKVŐ)**

Olyan betegek, akik térben és időben tájékozatlanok, zavartak, illetve akiknek a magatartása kiszámíthatatlan, gyógyszerelés nélkül veszélyeztető állapotot mutatnak. Szállítás alatt szedálásuk, szoros megfigyelésük, szükség esetén rögzítésük indokolt.

2) 1B osztály - Közepesen súlyos pszichiátriai beteg (FEKVŐ)

Olyan betegek, akiknek tudata tiszta de gyógyszerelés mellett magatartásuk rendezett, viszont a repülést rosszul tűrik. Ugyanide tartoznak azok is akik potenciálisan veszélyeztető állapot mutathatnak, illetve elkövethetnek önmaguk vagy a személyzet, repülőeszköz ellen irányuló cselekedetet. Ebben az esetben is indokolt a szoros megfigyelés, esetleges szedálás.

3) 1C osztály – könnyű pszichiátriai beteg (ÜLŐ)

Olyan betegek, akiknek magatartása rendezett, megfelelően együttműködők, irányíthatók, minden szempontból kiegyensúlyozottak.

2. osztály – Fekvő betegek (nem pszichiátriai):**1) 2A osztály – Nem mobilis fekvő betegek.**

Olyan betegek, akik képtelenek önállóan mozogni. Vészhelyzet esetén is segítségre szorulnak.

2) 2B osztály – Mobilizálható fekvő betegek.

Olyan betegek, akik vészhelyzet esetén képesek önerőből mozogni.

3. osztály – Ülő betegek:**1) 3A osztály – Ülő betegek, beleértve a rokkantakat, akiknek vészhelyzet esetén a légi jármű elhagyása során segítség szükséges.****2) 3B osztály – Ülő betegek, akik vészhelyzet esetén önerőből képesek elhagyni a légi járművet.****4. osztály – Járó betegek (Nem pszichiátriai):**

Olyan betegek, akik a repülés alatt nem igényelnek orvosi, vagy ápolói felügyeletet és önállóan, kíséret nélkül képesek utazni.



Légi egészségügyi kiürítésre való alkalmasság²⁵:

A légi egészségügyi kiürítésnek nincsenek abszolút ellenjavallatai. A szakma szabályai szerint jelenleg a stabilizált betegek szállíthatóak a stratégiai légi kiürítés esetén.

Minden beteg légi szállíthatóságáról az előny-kockázat mérlegelésével kell dönteni. A számított kockázatot néha vállalni kell! Amikor a kockázati tényező igen magas, a légi szállítás relatív kontraindikációjáról beszélünk. Ezek az esetek a teljesség igénye nélkül az alábbiak lehetnek:

1. Fertőző beteg

Ebben az esetben minden lehetséges óvintézkedést meg kell tenni a személyzet és a többi beteg védelme érdekében. Epidemiológiai helyzettől függően antibiotikumok adása javasolt a szállítás alatt (az adott antibiotikum kiszállításáról a honi Egészségügyi Szolgálat külön intézkedik). A magas kontagiozitású fertőző megbetegedések esetén külföldi egészségügyi szolgálatok segítségével kerül végrehajtásra a stratégiai kiürítés keretén belül.

2. Halálos beteg, sebesült

Az olyan beteg, sebesült, aki - általános állapota alapján - valószínűleg nem éli túl a repülést.

3. Állkapocs sérült

Az olyan beteg, akinek alsó állkapcsa nem mozdítható. Légi szállítás esetén az ilyen beteg fokozott figyelmet igényel. Az ellátó személyzetnek fel kell készülnie az ilyen betegnél jelentkező légi betegség, hányás szakszerű ellátására. Drótozott állkapcsú sérültnél ez a rögzítés megfelelő eszközzel történő eltávolításával jár.

4. Terhesség

A terhesség 250. napján túl lévő állapotos kismama részére a légi szállítás, ha más egyéb orvosi indok nincs, nem ajánlott.

Az alább felsorolt eseteknél, főleg nem hermetikus utasterű légi járművek esetében a beteg / betegek fokozott monitorozása, őrzése indokolt.

5. Légzőrendszeri betegség.

Az olyan beteg, akinek a vitál kapacitása kevesebb, mint 900ml, nem szállítható lélegeztető gép támogatása nélkül.

6. Szívelégtelenség, acut myocardialis infarctus korai szakasza

7. Vészes vérszegénység

Az olyan beteg, akinek $2,5 \times 10^{12}$ /l-nél kevesebb vörös vértest, vagy 70 g/l-nél kevesebb hemoglobin található a vérben. A labor vizsgálat a repüléshez essen minél közelebb, de nem történhet korábban, mint 72 órával az utazás előtt.

8. Bármely testüregben visszamaradt gáz

Például pneumothorax, bélelzáródás, acut sinusitis esetén. Laparotomián, thoracotomián átesett beteg esetében a légi szállítás nem ajánlott a műtétet követő 10. napig.

²⁵ STANAG 3204 / 2. melléklet szerint

9. Pszichiátriai betegek

Az ilyen betegek légi úton történő szállítása pontos, figyelmes szervezést, tervezést igényel. A betegek anamnézisében figyelni kell a korábbi elmegyógyászati betegségekre, kezelésre, a túlzott ingerlékenységekre, az esetleges repülési fóbiára. Az ilyen beteget repülés előtt lehetőség szerint hosszabb ideig megfigyelés alatt kell tartani és meg kell határozni, hogy milyen feltételek mellett alkalmas a légi egészségügyi szállításra.

Általános elv, hogy a kritikus, műtét utáni betegek a lehetőségekhez mérten stabilizált állapotban szállíthatók. Ilyen beteg/betegek mellett megfelelő szakszemélyzetnek kell ténykednie.

Légi egészségügyi kiürítést végző szakszemélyzet létszáma, összeállítása²⁶(1. táblázat):

Befolyásoló tényezők:

- a betegek/sérültek létszáma;
- a betegek/sérültek állapota.

A technikai lehetőségek csúcsát jelenleg a C-130 Herkules, a C-9 Nightingale, az F-70-es Fokker és a C-17 Globemaster III moduláris egészségügyi felszereléssel berendezett fedélzete jelenti, ahol az egyetlen, viszont kritikus állapotú beteg **intenzív osztálynak megfelelő** őrzésétől, életfenntartásától kezdve a tömeges, akár 60 főt ellátó, emeletes hordágy rendszerig az egészségügyi ellátás és ápolás magas szintje alakítható ki, akár interkontinentális (stratégiai szintű) evakuáció során. Természetesen ez magasan képzett, akár váltásban dolgozó klinikusok csoportjának (CCATT²⁷) és a repülésélettani kihívásokat speciálisan ismerő repülőorvos szakember fedélzeti jelenlétét igényli, míg az egészségügyi szakfelszerelés az esetszámtól függően pelletekben áll rendelkezésre. Rövid távú taktikai kiürítés és kutatás-mentés során a forgószárnyas eszközök (CH-47 Chinook, CH-53, hazánkban MI-17) alkalmazása akár moduláris és személyi poggyászban (hátizsák) szállítható egészségügyi alapfelszereléssel szintén működőképes modell.

D4 Páciens száma	Szükséges egészségügyi kíséret
1–10 fő beteg	1 fő légi egészségügyi személyzet
11–20 fő beteg	2 fő légi egészségügyi személyzet
21–40 fő beteg	3 fő légi egészségügyi személyzet
41–60 fő beteg	4 fő légi egészségügyi személyzet
Páciens állapota/száma	D4 egészségügyi kíséreten felüli egészségügyi kíséret
D1 1–2 fő	1 orvos (intenzív terápiában járatos, repülőorvostani képzésben részesült)
D1 3–4 fő	1 orvos (intenzív terápiában járatos), + 1 orvos , (legalább egyikük repülőorvostani képzésben részesült)
D1 betegenként	nővér/asszisztens (intenzív terápiában járatos)
D1 beteg esetén	technikus/asszisztens (járatos a fedélzeti eszközök kezelésében)

1. táblázat Egészségügyi kiürítés személyi feltételei

²⁶ STANAG 3204, 3. melléklet alapján

²⁷ CCATT: Critical Care Air Transportation Team: intenzív aneszteziológus és sürgősségi szakorvosok és asszisztensek légi kiürítő csoportja)



Az AIREVAC mozgósítására a légi műveleti vezetési törzsön (AOCC²⁸) belül külön PECC²⁹ került kialakításra, melynek ügyeletes orvos szakembere fogadja a bejövő sérült szállítási igényeket (ennek szabványosított formája a „9 soros” vagy METHANE rövidítéssel lefedett, az összes szükséges információra rákérdező formanyomtatvány), eldönti a sürgősségi szintet és a hadszíntéri parancsnok elé terjeszti a légi szállítási kérést. Az afganisztáni háborús körülmények közötti gyors aktiválás és az életmentés prioritása jelenleg biztosítja azt a szintet, hogy 90 perces repülőutat számítva gyakorlatilag 2 órán belül a tábori kórház műtőjében lehet a sérült, biztosítva a nem halasztható élet-végtag-érzékszerv mentő (DCS)³⁰ azonnali műtéti beavatkozások elvégzését. (Korábban a NATO legmagasabb szintű egészségügyi doktrínájában is szereplő „aranyóra” a sérülés időpontjától az első ellátásig tartó periódust nevesítette, ez most a „platina 10 perc” az állapot stabilizálásig.)

UAV ALKALMAZÁS A LÉGI EGÉSZSÉGÜGYI KIÜRÍTÉSBEN

A lehetőségek küszöbén – alapelvek

Az autózás hajnalán még úgy fogalmaztak, hogy egy sérült számára semmi sem lehet biztonságosabb, mint a lovas/ökrös szekérrel történő szállítás, és a páciens megijedne, ha autóba tennék. A repülés kialakulásakor viszont már a földi (autóval történő) szállítás vált elfogadottá. Ugyanakkor a modern hadviselés történetében a védelmi szféra az UAV-ok katonai célú fejlesztése során hamar ráébredt a forradalmi lehetőségekre, amit a pilóta nélküli légitűeszközök alkalmazása biztosíthat nemcsak a felderítés, a csapásmérő képesség (tűzvezetés, légi irányítás) területén³¹, hanem a logisztikai utánpótlás és a légi egészségügyi kiürítés során is, feltéve, hogy ennek megteremtik speciális technikai és orvosi feltételeit.

Erre vonatkozóan a NATO Tudományos és Technológiai Szervezete külön jelentést adott ki, amely a jelenlegi alkalmazásokat és a biztonságos légi sérült szállítás lehetőségeit összegzi³². Nem véletlenül: az Afganisztáni (és Pakisztáni) hadszíntéri alkalmazások nyomán a nagyközönség, a politikai döntéshozók és természetesen a gyártók is új lehetőséget látnak új UAV eszközök, illetve a meglévő típusokon új (például egészségügyi) platformok kialakításában. A 2009-es Párizsi Légibemutatón és Vásáron 16 ország több, mint 60 modellje volt jelen. Robbanászerű bővülést prognosztizálnak, az UAV domént az 1920-as évek elején álló légiközlekedési potenciálhoz hasonlítják. (Sőt távlatilag felvetik az UAV teljes autonómiáját, emberi irányítástól való függetlenedését, akár 10–15 éves időtávlatban. Ez a perspektíva – sérült emberrel a fedélzeten, csupán a gép intelligenciájára hagyatkozva – ma még kissé ijesztőnek tűnik³³.)

²⁸ AOCC: Air Operation Coordination Center: Légi Műveleteket Koordináló Központ

²⁹ PECC: Patient Evacuation Coordination Cell - sérült kiürítést koordináló sejt

³⁰ DCS: damage control surgery: a maradandó egészségkárosodás műtéti kivédése

³¹ ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance): hírszerzés, légtér ellenőrzés, céljelölés és felderítés

³² Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles - STO TECHNICAL REPORT TR-HFM-184, Task Group HFM-184 (2009 – 2012).

³³ United Kingdom Ministry of Defence. “Joint Doctrine Note 2/11 – The UK Approach to Unmanned Aircraft Systems”

A hasznos teher szállítására alkalmas, logisztikai célú RW vagy DF³⁴ UAV járművek a hagyományosabb utánpótlási teherszállítás mellett veszélyes (robbanó) anyagok szállítására, vagy éppen a sérült katonák kimentésére is felhasználható. Erre először a Vietnami háború során tettek kísérletet: az Amerikai Haditengerészet (eredetileg tengeralattjáró elhárításra fejlesztett) távvezérelt drón eszköze több katonát mentett ki a frontvonal mögül. (Midget projekt – 2. ábra).



2. ábra Drón első MEDEVAC alkalmazása a vietnami háborúban

Ma a légi kiürítésre szánt technikának és sérült áramlásnak meg kell felelnie a legújabb NATO egészségügyi szövetségi publikációban³⁵ lefektetett **10-1-2-elvnek**, miszerint:

1. a sérüléstől számítva 10 percen belül hatékony vérzéscsillapítás és légút biztosítás (lélegeztetés) kell. (Erre kiképzett CLS³⁶ katonák révén, nem egészségügyi szakszemélyzettől!);
2. legkésőbb egy órán belül tapasztalt és felszerelt egészségügyi szakszemélyzet (földi vagy légi úton) érje el a sérültet, stabilizálja az állapotát;
3. a szükséges sebészeti beavatkozás 2 órán belül egészségügyi létesítményben elvégzendő. (tehát addigra oda szállítandó!).

Az afganisztáni ISAF³⁷ tapasztalatok azt mutatják, hogy hatékony, gyors légi kiürítés nélkül ez nehezen valósítható meg, több kiürítési szakaszon ez az elem egyszerűen nélkülözhetetlen. (3. ábra)³⁸

Sok probléma is felmerült:

1. kevés a rendelkezésre álló repülőtechnika;
2. az időjárási körülmények is korlátozhatják a repülés végrehajtását;
3. kevés a MEDEVAC feladat végrehajtására alkalmas pilóta;
4. intenzív ellenséges légvédelmi tevékenység lehetősége;
5. hatótávolságon kívüli helyszín elérhetetlensége;
6. speciális erők rejtett bevetése stb.

³⁴ RW: rotary wing – forgószárnyas, DF- ducted fan – csőlégcsavaros elrendezés a VTOL – vertical take off and Landing – függőleges fel-leszállási képesség elérésére

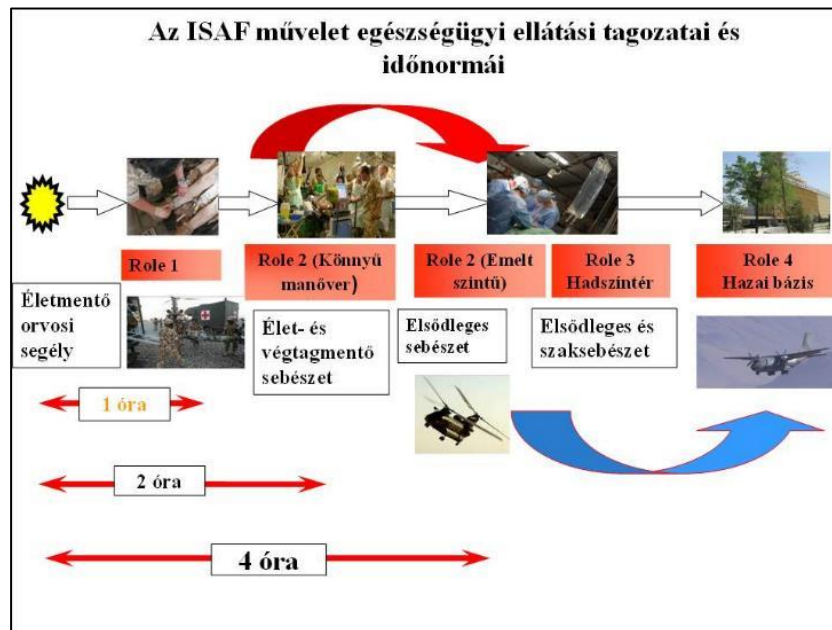
³⁵ AJP-4.10(B) Allied Joint Publication, azaz “Allied Joint Medical Support Doctrine” Összhaderőnemi egészségügyi támogatás / biztosítás doktrínája (Draft 1.1), para 1024.

³⁶ CLS – Combat Life Saver – harctéri életmentő katona

³⁷ ISAF - International Security Assistance Force

³⁸ Svéd, L, Kopcsó, I: A tervezéstől a műveletig. ZMNE 2008, 259.o

Ez felveti, hogy a pilótás és UAV-os MEDEVAC műveleteknek nem csupán a technikai lehetőségeit, de a hadműveleti körülmények közötti életképességét, kivitelezhetőségét is mérlegelni kell a jövőben. Ez természetesen összefügg a jelen, de még inkább a jövő non-lineáris harctereivel, ahol kisebb egységek egymástól távol harcolnak, ami sérülés esetén növeli a szállítási időt is az egészségügyi ellátás helyszínére és növeli a kockázatát a MEDEVAC-ot végrehajtó technika és személyzet sérülésének is. Ilyenkor különösen előnyös lehet majd a kisebb, gyors és csendes, személyzet nélkül repülő légi jármű bevetése.



3. ábra A progresszíven egymásra épülő egészségügyi ellátási elemek rendszere és a légi egészségügyi kiürítés lehetőségei Afganisztánban³⁹

A NATO STO említett TR-HFM-184 munkacsoport jelentése klinikusok, pilóták, repülőmérnökök, doktrínális szakemberek bevonásával vizsgálta, hogy magának a repülőeszköznek milyen karakterisztikával kell rendelkeznie, és milyen repülőorvosi – aneszteziológiai – sürgősségi orvosi feltételeknek kell megfelelni a légi szállítás során, hogy a kiürítés ne rontsa a páciens állapotát.

Technikai oldal:

- 1.1. Technikai szempontból vizsgálati alapelv volt, hogy a repülőeszköz légialkalmassága⁴⁰, törésállósága⁴¹ ugyanolyan szintű legyen, mint a pilóta vezette helikopteré. Az is alapelv, hogy az UAV általi MEDEVAC kockázatát a pilóta vezette MEDEVAC kockázatához lehet mérni (illetve a jövőbeli fejlesztéssel csökkenteni), nem elhallgatva azt a tényt, hogy maga a MEDEVAC bevetés mindkét formára kockázatot jelent.
- 1.2. Az UAV-ok bizonyos körülmények között kiterjeszthetik a légi kiürítési képességeket:
 - a) a látótávolság az emberes repülés minimuma alatt van
 - b) a repülési útvonal vagy a célkörzet veszélyes sugárzó, biológiai vagy vegyi anyagtól

³⁹ Svéd, L, Kopcsó, I: A tervezéstől a műveletig. ZMNE 2008, 259.o

⁴⁰ airworthiness - speciális légi alkalmasság és repülési engedély kiadása bizonyos műszaki feltételek esetén

⁴¹ crashworthiness – lezuhanás esetén a kabinban lévők baleseti túlélhetőségének biztosítása

(CBRN)⁴² szennyezett

- c) a célkörzet „forró” (heves harcok)
- d) nincs elég kiképzett pilóta (pihentetés, egyéb készség igénye)
- 1.3. Ugyanakkor még a komputerizáció magas szintjén is az UAV-ok az embernél nehezebben boldogulnak a nem egyértelmű, információ hiányos vagy bizonytalan környezetben vagy helyzetben. („Az ember nélküli rendszereket használd unalmas, piszkos és veszélyes bevetésekben^{43!}”)
- 1.4. Fontos a VTOL képesség és az Apache 64 harci helikopterhez mérhető, kis felszállóhely igény (footprint azaz „lábnyomat”).
- 1.5. Legalább 1000 font, kb. 500 kg hasznos szállítási képesség szükséges (leszámítva az érzékelők és az üzemanyag súlyát).
- 1.6. belső szállító tér szükséges (NATO szabványos biztonsági övekkel és hordágyrögzítővel).
- 1.7. Autonóm navigációs és műveleti képesség (pl. leszállóhely keresés) LIDAR⁴⁴ rendszer és digitális térképek segítségével. A Dragonfly cég által fejlesztett kétrotoros helikopter 2010-ben 100 km-es hatótávolságot ért el autonóm repülés során, 450 font (220 kg) hasznos teherrel.

Humán erőforrás oldal:

- 2.1. Humán oldalról szemlélve vizsgálták a repüléssel járó pszichofiziológiai kockázati tényezőket (zaj, vibráció, gyorsulás-túlterhelés, mozgásbetegség, kabinlevegő minősége, hőmérséklete.) Elemezték az orvosi beavatkozás-felügyelet útközbeni lehetőségét (monitorizálás, telemedicina)
- 2.2. Szükségesnek tartották definíció szintjén elkülöníteni a klasszikus MEDEVAC bevetést, ahol egészségügyi szakszemélyzet felügyeli a folyamatot és a CASEVAC –ot, ahol maga a szállítás nem kiképzett egészségügy személyzet által felügyelt. Logisztikai UAV-ok alkalmazását ez utóbbira tartják jobban elképzelhetőnek, akár a közeljövőben bizonyos harc-téri helyzetekben (városi harc, asszimmetrikus fenyegetés), míg dedikált MEDEVAC csak később valósulhat meg. Ehhez a fedélzeti autonóm egészségügyi rendszerek (monitorizálás, automatizált beavatkozási képesség, mesterséges intelligencia) jelentős fejlesztésére van szükség.
- 2.3. Továbbfejlesztett, telemetriás és telemedicinális képességekkel megerősített sérült osztályozó (Triage) rendszer és kritikus állapotú beteg intenzív ellátásra szolgáló őrzőrendszer kialakítása nélkülözhetetlen.
- 2.4. Továbbfejlesztett parancsnoki és kommunikációs rendszer, az alternatívák gyors értékelésével szintén alapvető.
- 2.5. NATO-n belüli közös egészségügyi standardok a légiszállítás minőségi követelményeire vonatkozóan növelik a hatékonyságot és a biztonságot.

Fenti alapelvek alapján kidolgozott, alternatív megközelítési útvonalakat, minimális emberi

⁴² CBRN: chemical, biological, radionuklid – vegyi, biológiai és sugárszennyezés

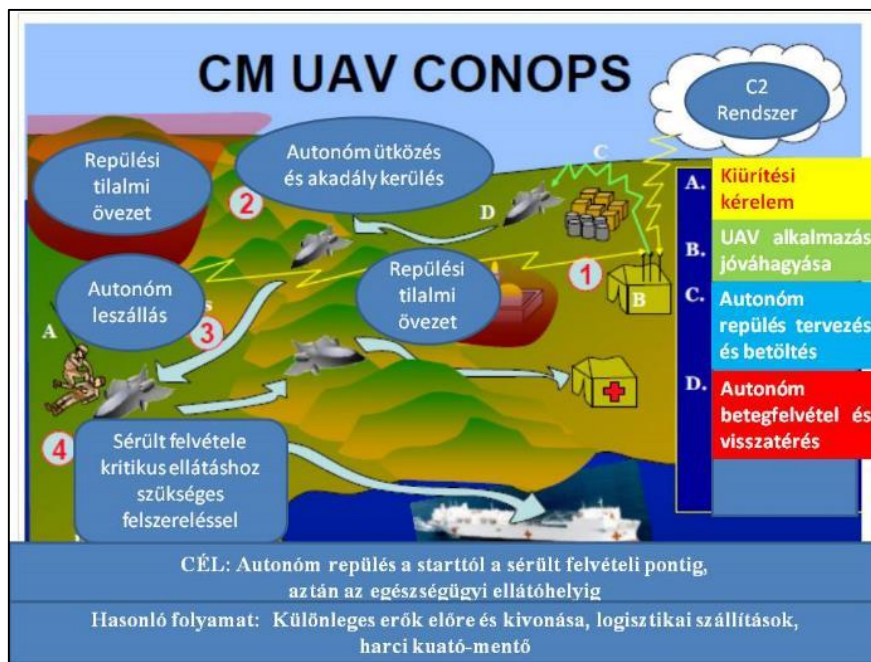
⁴³ 3D bevetés: Dirty, Dull, Dangerous – piszkos, unalmas vagy veszélyes repülési bevetés

⁴⁴ LIDAR: Laser imaging detection and ranging system: lézeres akadály észlelő és távolságmérő rendszer

közreműködést magában foglaló műveleti elképzelést⁴⁵ (5. ábra) az afganisztáni hadszíntéren és Utah államban (Dugway) már tesztelték is. A tengerészgyalogság 2009–2011 között két Boeing (pilóta nélküli Little Bird illetve A-160 Hummingbird rendszert) illetve egy K-MAX Air Cargo UAS rendszert használt fel arra, hogy a harcmező felé logisztikai utánpótlást (vizet, élelmet) vigyen, visszafelé pedig külső rögzítésű platformon ember nagyságú és súlyú próbababát szállítson autonóm üzemmódban. Fentieket is figyelembe vették a NATO egészségügyi doktrínájának továbbfejlesztésekor, a légi szállítás (repülési karakterisztika) okozta stressz tényezők és a sérült tűrőképességének összehangolására. (Például egy többszörösen sérült katona nem biztos, hogy járulékos stressz és károsodás nélkül kibírja, az akár 7 G-s túlterheléssel felszálló UAV manőverét.) Számoltak a repülési autonómia további fejlődésével (mesterséges intelligencia megjelenése nemcsak a repülésben, de a sérült ellátásban is).

Fejlesztési koncepciók

A jelenlegi, logisztikai szállításra tervezett, VTOL képességgel bíró (forgószárnyas) UAV-ok jórészt amerikai fejlesztésűek, egy izraeli prototípus van kipróbálás alatt. Közös jellemzőjük, hogy maximális utazómagasságuk 4–4500 méter, hasznos terhelésük 500–600 kg között, hatótávolságuk 400 km, sebesség 250 km/óraig. Az egyik legismertebb az **Unmanned Little Bird (ULB)** (5. ábra), de más típusok is ígéretes fejlesztés előtt állnak (6–8. ábrák), jelenlegi specifikációikkal.



4. ábra Műveleti elképzelés (Concept of Operation) harci mentő (Combat Medic) UAS felhasználására vonatkozóan.⁴⁶

⁴⁵ CONOPS: Concept of Operation: Műveleti alkalmazása koncepciója.

⁴⁶ Beebe, M.K., Lam, D., Gilbert, G.R. : NATO STO HFM Tudományos és Technológiai Szervezet Humán Faktor Panel HFM-231 jelentése: *Unmanned Aircraft Systems for Casualty Evacuation - What Needs to be Done*. Sérült kiürítés UAS rendszerekkel – mi a teendő? [www.sto.nato.int.](http://www.sto.nato.int/), letöltve 2014.03.02.

Unmanned Little Bird



Hasznos teher: kb. 600 kg
Hatótávolság: kb. 400 km
Sebesség: kb. 200 km/óra
Rotor átmérő: kb. 8 méter

Maximális magasság: kb. 4 500 m
Belső szállítás: kabin módosítás után lehetséges

Státusz: Pilótás verzió szolgálatban, 2 pilóta nélküli verzió

Gyártó: Boeing
Ország: USA

5. ábra a Boeing UAV Little Bird légi szállításra készen

FIRE-X

Gyártó : Northrop Grumman / Bell Helicopter
Ország: USA



Hasznos teher : 3,000 LB
Hatótávolság: 530 NM (tengeri mérföld)
Sebesség: 133 csomó
Rotor átmérő : 35 láb
Maximális magasság: 20,000 láb fölött
Belső szállítás: 1 – 4 hordágy konfigurációtól függően
Status: fejlesztés alatt

6. ábra FIRE-X

AirMule



Gyártó: Urban Aeronautics
Ország: ISRAEL

Hasznos teher: 1050 font, kb 520 kg
Hatótávolság: 600 tengeri mérföld, kb 1080 km
Sebesség: 100 csomó, kb 180 km/óra
Rotor átmérő : NA (ducted fan -rejtett)
Sárkányszerkezet: 22 FT x 7 FT x 6 FT, kb. 7x2,3x2 méter
Magasság: 12,000 láb , kb. 3600 méter
Belső szállítás: 2 hordágy
Státusz: fejlesztés alatt

7. ábra AirMule, izraeli drón

U.S. DARPA Transformer (TX) “Flying Car” Road Capable VTOL/STOVL UAS Program



Gyártó: AAI Corp.
/(Lockheed is fejleszt hasonló)
Ország: USA

Hasznos teher: 1,000 font,
kb. 500 kg
Hatótávolság: 250 NM tengeri
mérföld, kb. 450 km
Sebesség: 130 csomó kb 234
km/óra (levegőben)
/ 60 mérföld/óra kb 108 km/óra
(földön)
Rotor átmérő: 50 láb, kb. 15 méter
Maximális magasság: 10,000 láb
kb. 3000 méter
Belső szállítás: 1 – 4 utas
vagy 1 – 3 utas és 1 – 2 hordágy
Status: fejlesztés alatt,
2015-re tervezett az 1. repülés

8. ábra “Flying Car” (Repülő autó)

Uav-ok jövője a légi egészségügyi kiürítésben

A NATO STO kutató csoportjai jelenleg úgy látják, hogy az UAV-ok harci (csapásmérő-felderítő) felhasználása mellett a katona-egészségügyi hasznosítás is forradalmi fejlődés előtt áll, melynek azonban vannak logisztikai, egészségügyi (repülőorvosi), jogi-etikai problémái. Ezeket előbb meg kell oldani, nehogy a sérült relatív szállítási kockázatát növeljük, állapotát – a várttal ellentétben – tovább rontsuk. (Különösen fejsérülések esetén további, tapasztalatokon alapuló bizonyíték⁴⁷ szükséges a légi szállítás igazi hatékonyságának igazolásához.) Ehhez új

⁴⁷ EBM: Evidence-based medicine: tapasztalatokon alapuló orvoslás, melynek célja az orvosi eljárások (diagnosztika, terápia) igazi hasznának megítélése.

klinikai ellátó egységekre, újszerű, portábilis, könnyen fedélzetre telepíthető orvosi technológiákra van szükség, melyeket műveleti körülmények között is tesztelni kell. A szakszemélyzet eszköz specifikus kiképzését ezekre is meg kell oldani, a repülésélettani környezeti stresszorok (zaj, vibráció, túlterhelés) lehetséges csökkentésének módjaival együtt (különösen fej- és gerinc sérülések esetén ez alapvető jelentőségű, a hagyományos nyaki rögzítő gallérok illetve gerincrögzítő eszközök magas vibrációs tartományban kárt is okozhatnak).

A katona felszerelésének 2025-re elengedhetetlen része lesz az orvosbiológiai alrendszer, amely az élettani paraméterek változását nyomban közvetíti a parancsnok felé, kritikus romlás esetén riasztja a mentőegységeket. Automatizált, mesterséges intelligenciával rendelkező „okos ágyak” fogják az alapvető életműködések stabilizálni, monitorozni, minimális emberi beavatkozás mellett.⁴⁸ (9. ábra)



9. ábra A harctéri „okos ágy” koncepciója, Nightingale mini UAV a sérült kiszállítására.

Az automatizált rendszer működtetéséhez elvileg szakmai segítség nem kell, csak a sérült bajtársa (jobb esetben harctéri életmentő katona) futtatja a kézi automatikus diagnosztikai egységet, majd az „okos ágyra” rögzíti őt, ahol az állapot stabilizálást és monitorizálást a gép már újra önállóan végzi. A telemetriás úton az egészségügyi szakellátó helyre továbbított adatok alapján a későbbi műtő orvos és az operátor közösen kiválasztják a (katonai és repülőorvosi szempontból is) legbiztonságosabb, leggyorsabb útvonalat, és az UAV önállóan odarepül. Természetesen ez a folyamat mai elképzeléseink és alapismereteink szintjére egyszerűsített, a nanotechnika és a robotsebészet „ugrásra készen álló” technikai vívmányai forradalmian felgyorsíthatják a harctéri sebesült ellátást, beleértve a gép által végzett kisebb műtéteket, folyadékpótlást, mesterséges vérpótlást stb.

Alapvető különbség az UAV-k által biztosított evakuáció és a pilótás MEDEVAC gépek alkalmazása között, hogy míg az utóbbiban magasan képzett szakorvosi csapatok biztosítják a STANAG 3204 mellékleteiben megszabott keretek között a sérültek osztályozását (prioritás,

⁴⁸ LSTAT – Life support trauma and transport „okos ágy” – életfenntartó rendszerek trauma és transport esetén

dependencia) és ütemezett szállítását, az UAV kiürítés elsősorban a gyorsaságban és az alapvető életfunkciók stabilizálásában előnyös, nincs szükség a magasan képzett egészségügyi szakszemélyzet harctérhez közeli telepítésére, óvja az élőerőt.

UAV operátorok szerepe a légi egészségügyi kiürítésben

Az UAV operátor nem egészségügyi szakember, egészségügyi döntésekért tételesen nem tehető felelőssé. Ugyanakkor már a klasszikus katonai (felderítés és csapásmérés) illetve logisztikai (szállítás) célú bevetésekben az UAV operátor megterhelése és hibaforrásainak skálája jelentős lehet. Ez eltér az ember vezette légi járműveken kiemelt szerepet játszó, a valós repülési környezetből és élettani stresszor tényezőkből eredő hibáktól. Míg a repülőgép fedélzetén a gyorsulás-túlterhelés, az oxigénhiány és a térbeli dezorientáció a leggyakoribb baleseti ok, addig az UAV műveletek során az első két okcsoport egészében kiesik, a térbeli tájékozódó képesség elvesztésének pedig új típusai kerülnek előtérbe, ahol nem a mozgási élmény, hanem annak hiánya csapja be az emberi érzékszerveket és vezet hamis helyzetérzékeléshez. Az ilyen bevetések hosszúak (akár több naposak) lehetnek, a kifáradás növeli a humán hiba lehetőségét

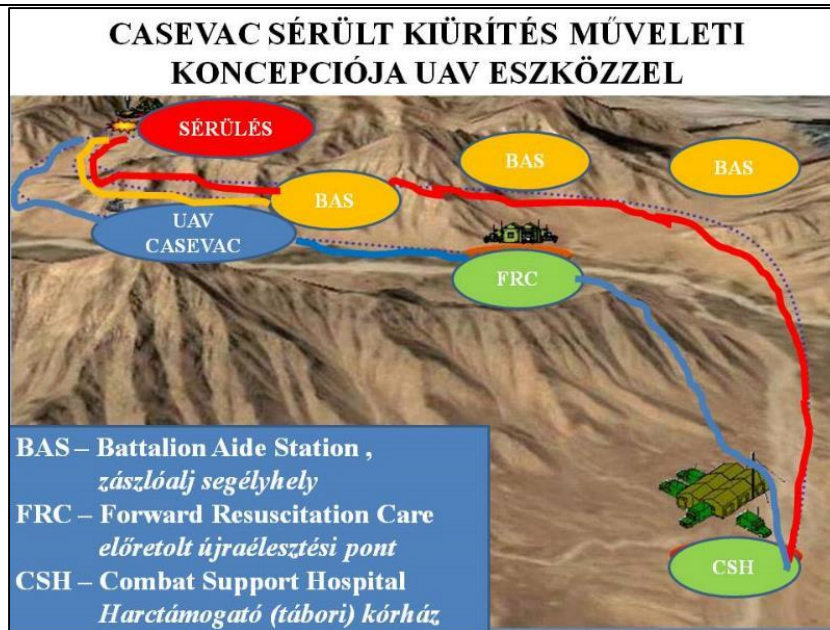
Ha az UAV fedélzetén nem fegyver, felderítő konténer vagy logisztikai anyag, hanem egy szenvedő, gyors segítségre szoruló sérült lesz, az – *az említetteken felül* – tovább növeli az operátorra nehezedő lelki nyomást, stresszt, időkényszert és ezzel óhatatlanul fokozza a hibahajlamot. A nem alapvetően egészségügyi képzettségű pilóta-operátort az előre kidolgozott döntési algoritmusok és az egészségügyi szakellátóhely osztályozást végző és rangidős sebész orvostisztjével fenntartott folyamatos kétoldalú kommunikációs (lehetőleg video) kapcsolat mentesítheti a lelki teherrel (osztályozás felelősségétől és a szállítási trauma kockázatától) és csökkentheti a hibahajlamot.

Ezen túlmenően a jelen alkalmazásokhoz képest szükség lehet a repülési karakterisztikák módosítására: kisebb emelkedési sebesség, turbulens légterek kerülése, alacsonyabb repülési magasság megválasztása lehet indokolt. A „humán hasznos teher” módosíthatja a korábban alkalmazott harci repülési módot: a túlzott túlterhelések kerülendők, a turbulencia okozta vibráció a polytraumatizált betegnél vibrációt és rezonálást okozhat, ami akár az immobilizációs technikai eszközöket is károsíthatja, a zaj pedig (főleg a ducted fan csőlégcsaváros megoldásoknál) önálló sérülésforrás lehet. A helyes repülési magasság megválasztása a kivértett, oxigénhiányra fokozottan érzékeny sérült esetén kritikus lehet. Robotpilóta (autopilot) üzemmódban és vészleszálláskor (auto recovery) is az emberi tűrőképesség határán belül kell tartani a repülési paramétereket, különben a légi szállítás csak tovább rontja a sérült állapotát, legrosszabb esetben pedig már csak a holtteste érkezik meg a tábori kórházba. A harctér pontos domborzati viszonyainak ismeretében, az aktuális harci cselekmények és a sérült állapotának függvényében lehetséges az optimális útvonal kiválasztása a sérülés helyszínéről a zászlóalj segélyhelyig (BAS⁴⁹), vagy az előretolt újraélesztési pontig (FRC⁵⁰), vagy a harctámogató kórházig (CSH⁵¹) (10. ábra)

⁴⁹ BAS – Battalion Aide Station - zászlóalj segélyhely, 1. eü. szaksegély helye

⁵⁰ FRC – Forward Resuscitation Care – előretolt újraélesztési pont, életmentő elsősegély helye

⁵¹ CSH – Combat Support Hospital – Harctámogató (tábori kórház) – ROLE II E vagy III. szintű hadműveleti kórház moduláris felépítésben, műtő-intenzív őrző és fektető kapacitással



10 ábra UAV műveleti koncepció az egészségügyi kiürítés célpontja szerint

Ezek a plusz kihívások szükségessé teszik az egészségügyi UAV végrehajtásra tervezett operátorok UAV típus specifikus képzését, egészségügyi (sürgősségi és repülőorvosi) alapismeretek megszerzését, a MEDEVAC egész kommunikációs rendszerének megismerését és az egészségügyi szakellátó hely felelős vezetőivel való folyamatos szoros együttműködést, koordinációt.

ÖSSZEGZÉS

Az UAV légitársaságok alkalmazásának célrendszere és eszköztára folyamatosan bővül, ezen belül az automatizált pilótánélküli repülőgéppel végrehajtott légi egészségügyi kiürítés az egyik legígéretesebb terület, bizonyítja a NATO elkötelezettségét az élőerő fokozott védelme⁵² mellett. Folyik a sérült elhelyezésére optimalizált technika (sárkányszerkezet, fedélzeti és életfenn tartó berendezések) fejlesztése, a kiürítési elvek, műveleti koncepciók egységes szemléletű kidolgozása, a standardizáció előkészítése. Szükség van az UAV operátor stressz terhelésének ismételt elemzésére – figyelemmel a humán hasznos teher jelenlétére, a repülési paraméterek korlátozott kihasználtságára. Már a típus specifikus operátor képzés során fel kell készíteni az operátort az egyedi kihívásokra, a magas műveleti tempó mellett az egészségügyi döntéshozatal koordinálásra és a szállítási feladatnak a sérült állapotához igazodó kivitelezésére.

A hadműveleti tapasztalatokra alapozva (OIF⁵³, OEF⁵⁴) már egyértelműen kimondható, hogy a diverzifikált UAV alkalmazások, a harci bevetések mellett más feladatokra történő felkészítési programok számottevően javítják az egész hadművelet sikerességét, csökkentik a katonák közvetlen harci terhelését, és az ellenségnek történő közvetlen harci kitettségét, a sérülés veszélyét,

⁵² Force Protection – élőerő védelme, a NATO egyik legfontosabb doktrínális alapelve.

⁵³ OIF: Operation Iraqi Freedom: többnemzeti hadművelet ENSZ felhatalmazással Irakban

⁵⁴ OEF: Operation Enduring Freedom: többnemzeti hadművelet ENSZ felhatalmazással Afganisztánban

fejlesztésük perspektivikus.⁵⁵ Bekövetkezett sérülés esetén a korábban katonai (hadműveleti, logisztikai) feladatra rendszeresített UAV a konténerek-pellettek cseréjével átprofilírozható és sérültkiürítésre is felhasználható.

A dinamikusan növekvő, speciális szaktudást és képességeket igénylő operátori feladatkör ezzel új spektrummal bővíthet, ahol szükség van a potenciális jelölt állomány költséghatékony és logikus, szekvenciális szűrésére, a szelekciós kritériumok pontos meghatározására és az új feladatkörnek megfelelő szaktudás megszerzésére, repülőegészségügyi alapkiképzésre.

Bár a fejlesztések eszköz és anyagigényesek, többnemzeti együttműködést igényelnek, de kétségtelen, hogy az automatizáció, a robotsebészet és általában az intenzív (és invazív) orvosi őrző technika, monitorizálási képességek és autonóm egészségügyi logisztikai rendszerek kiépítése az egészségügyi szakemberek jelenlététől függetlenül is biztosítja ennek a harcéri mentő és szállító képességnek a fejlődését – akár már a közeljövőben.

Ebben a feladatban a Nemzeti Közszolgálati Egyetem és a MH Honvédkórház / Egészségügyi Központ szakállománya is részt vállal, TÁMOP pályázat keretében „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata” kezdődött meg. (TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat , "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások".)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AJP-4.10(B) Allied Joint Publication , azaz “Allied Joint Medical Support Doctrine” Összhaderőnemi egészségügyi támogatás / biztosítás doktrínája (Draft 1.1), para 1024. url: <http://www.sto.nato.int>. (2014.03.07)
- [2] BEEBE, M.K., LAM, D., GILBERT, G.R. : NATO STO HFM Tudományos és Technológiai Szervezet Humán Faktor Panel HFM-231 jelentése STO-MP-HFM-231: *Unmanned Aircraft Systems for Casualty Evacuation - What Needs to be Done*. Sérült kiürítés UAS rendszerekkel – mi a teendő? url: <http://www.sto.nato.int>. (2014.03.02)
- [3] Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035.UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap> (2013.02.25)
- [4] NATO RTO Technical Report RTO-TR-HFM-184, Task Group HFM-184 (2009 – 2012).. “Safe Ride Standards for Casualty Evacuation Using Unmanned Aerial Vehicles”. December 2012. url: <http://www.sto.nato.int>. (2013.08.27.)
- [5] NATO STANAG 3204 Aeromedical Evacuation – Légi egészségügyi Kiürítés url: <https://www.nsa.nato.int>. (2014.03.07)
- [6] SVÉD László: A tervezéstől a műveletig. ZMNE 2008, 231.o., 259.o.

⁵⁵ Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035.UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap>, letöltve 2013. február 25-én

Szökrény Zoltán¹ – Balajti István²

LÉGTÉRELLENŐRZŐ RADAROK BALLISZTIKUS RAKÉTA RÖPPÁLYA DETEKTÁLÁSI LEHETŐSÉGEI³

A modern háborúk folyamán jelentős mértékben kibővült a légi hadviselési eszközök arzenálja. A merevszárnyú repülőgépeken, helikoptereken, pilóta nélküli és távvezérelt repülő eszközökön kívül a hadszíntéren bármikor bevetésre kerülhetnek a különböző típusú hadszíntéri rakéták. Ezek közül az utóbbi évtizedekben különösen a hadszíntéri ballisztikus rakéták jelentettek komoly fenyegetést.

POSSIBILITIES OF BALLISTIC MISSILE TRAJECTORY DETECTION BY SURVEILLANCE RADARS

During modern wars the arsenal of air warfare tools were significantly expanded. In addition to the fixed-wing aircraft, helicopters, unmanned and remote controlled flying devices, different types of theater missiles could be deployed on the battlefield. Out of these – particularly in the last few decades – the war theater ballistic missiles showed serious threats.

BEVEZETÉS

Az Öböl-háborúban a hadszíntéri ballisztikus rakéták iraki részről történő alkalmazása felhívta a koalíciós erők figyelmét az ellenük való védekezés hiányosságaira és szükségességére. Irak hatásosan illusztrálta, hogy képes az ilyen rakéták továbbfejlesztésére és hatékony alkalmazására. Miközben ezek a rakéták pontatlanok voltak, azért, hogy hadműveleti és harcászati jelentőségüket növeljék, geopolitikai célokat támadtak, és vegyi töltetek alkalmazásának lehetőségével pszichológiai fenyegetést jelentettek, mellyel megpróbálták belekeverni a koalíciós erőket és a környező országokat egy újabb konfliktusba.

A fejlődő országokban növekvő számban rendszeresítenek egyre nagyobb hatótávolságú rakétákat, így egyre nagyobb távolságú célokat érhetnek el. Ez a ballisztikus rakéták terjedésének amúgy is nehezen kivitelezhető korlátozásán túl fokozott erőfeszítésekre kényszeríti a NATO összes tagországát, amihez anyagi és szellemi lehetőségeink függvényében a szövetség kollektív védelmi rendszerébe integrálódva hazánknak is hozzá kell járulnia.

Magyarországot semleges, csatlakozásra váró és NATO tagországok veszik körül. Reális TBM (harcászati ballisztikus rakéta) fenyegetettséggel tehát nem kell számolni. De előfordulhatnak a rakétacsapatok éles lövészetei során céltévesztett rakéták a drónok fejlődése szintén megköveteli az új típusú „kiterjesztett” légtér-ellenőrzési képességek meglétét. A mezőgazdaságban a jégkárok megelőzése céljából jégvédelmi rakétákat alkalmaznak. Mindkét esetben a kilőtt rakéták követése elvárt követelmény, ez különösen a baleseti helyzetek okainak kivizsgálásánál

¹ alezredes, tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, szokreny.zoltan@uni-nke.hu

² ny. alezredes, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, balajti.istvan@uni-nke.hu

³ Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Tanszék, drmi48@gmail.com



hasznos. A rakéták mellett a ma egyre inkább terjedő katonai és polgári célokat szolgáló drónok extrém manőverező képessége is megköveteli a légtérelőzítés TBM képességeinek vizsgálatát, hiszen a napjainkban elterjedt kis elevációs szöggel rendelkező felderítő radar berendezések erre nem alkalmasak.

HADSZINTÉRI RAKÉTA

A rakétákat hatótávolságuk szerint kis (500 km-ig), közepes (500 km és 5000 km között) és nagy hatótávolságúak (5000 km-t meghaladó) csoportokba sorolhatjuk⁴. [1]

Az 1. táblázatból megfigyelhető, hogy a rakéták hatótávolsága, csúcsmagassága és repülési sebessége között meghatározott összefüggés van. A földi telepítésű radarok céltárgy detektálási hatótávolsága miatt, számunkra a kis és a közepes hatótávolságú hadszíntéri rakéták egy részének repülési tulajdonságaival célszerű közelebbről foglalkozni.

Az 1. ábrán látható, hogy a hadszíntéri rakéta röppályája aktív és passzív szakaszból tevődik össze. A vezérelt hadszíntéri rakétákat rendszerint függőlegesen indítják. Indítás előtt a rakéta fedélzeti vezérlő berendezésébe betáplálják a kiszámított hadszíntéri röppálya adatait. Az aktív szakaszon (az égésvégi pontig) a hajtómű működik. Az aktív szakasz – melyen a vezérlés (célra irányítás) történik – a röppálya rövidebb szakaszát alkotja. A röppálya passzív szakaszán a rakéta, a hajtómű működése során nyert mozgási energia következtében halad tovább.

Hatótávolság	Pálya csúcsmagassága	Sebesség célközelségben	Repülési idő
km	km	m/s	perc
300	100	1020	4
1000	260	3100	9
2000	460	4000	12
3000	650	4800	15
4000	820	5400	18
5000	970	5900	21

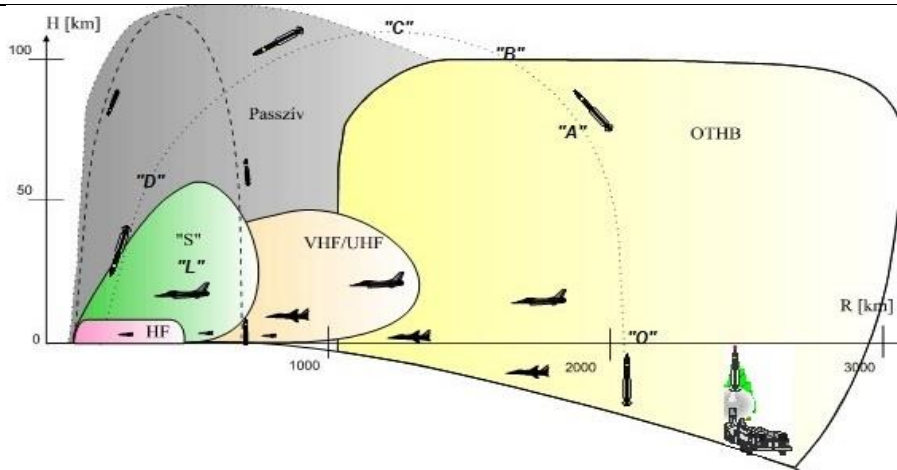
1. táblázat A rakéták jellemzői⁵[2]

A rakéta „hasznos része” (többnyire csak a rakéta robbanófeje) a hajtómű kiégése után ballisztikus röppályán mozog a célig. Ez a röppálya némileg módosul a légkörbe való visszatéréskor. A hadszíntéri röppálya alakja kisebb hatótávolságú rakéták esetén parabola, nagyobb hatótávolságú rakéták esetén pedig ellipszis alakú. A hadszíntéri rakéta égésvégi sebessége az első kozmikus sebességnél kisebb, hiszen ez feltétele a ballisztikus röppálya kialakulásának. Ha az égésvégi sebesség értéke az első és a második kozmikus sebesség közötti, akkor a röppálya felveszi a földkörüli kör vagy ellipszis alakú pályát.

A nem vezérelt hadszíntéri rakéták indítása, a megsemmisítendő cél távolságából és a hajtómű égési ideje által meghatározott égésvégi sebességből kiszámított ballisztikus röppályának megfelelő indítási szögön történik. A fejrész burkolata speciális a hasznos teher megvédése céljából.

⁴ Field Manual No. 44-100 US Army Air Defense Operations. Washington DC, Headquarters of the Army, 1995. Chapter 2: Theatre. Chapter 3: Joint Counterair and Theatre Missile Defense Doctrine. 37-39. p

⁵ Ruttai László: A légvédelmi rakétaegység harcászati ballisztikus rakéták elleni harcrendjének megtervezéséről, Hadtudomány 1999. 3–4. sz. p. 62–74



1. ábra Függőleges indítású hadszíntéri rakéta röppályája

O–B	Röppálya aktív szakasza	O–A	Légkörből való kijutás
C	Röppálya csúcsa	A–B	Irányított pályarész
D	Légkörbe való belépés	B	Égésvégi pont
D–E	Visszatérő pályarész	B–E	Röppálya passzív szakasza

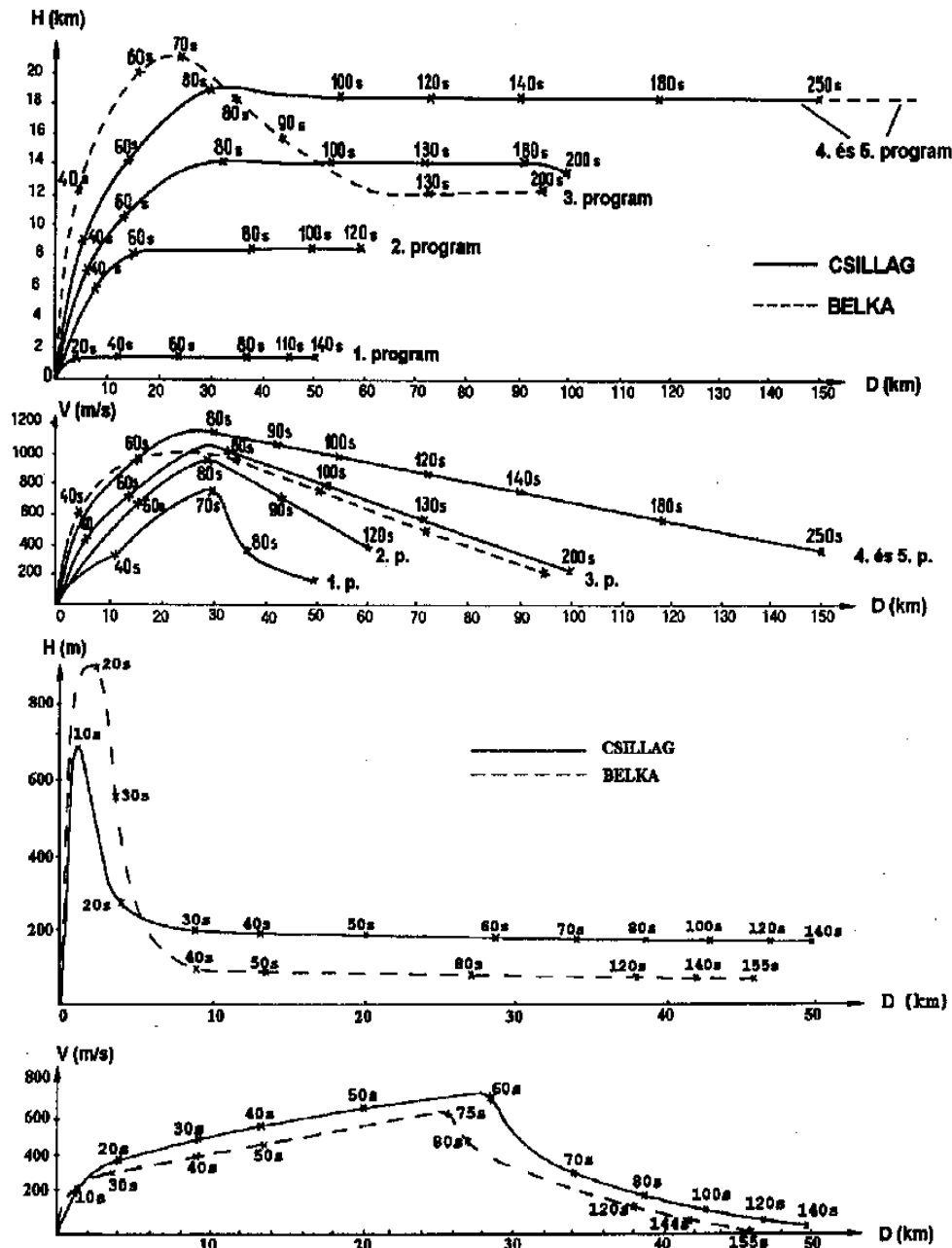
Hadszíntéri rakéta – mint légi cél – sajátosságai

A hadszíntéri rakéta jellemzőit elemezve és kiegészítve a rádiólokációs detektálásra vonatkozó követelményekkel az alábbi értékelés leegyszerűsíti a radarokkal szembeni céltárgy detektálási elvárások kidolgozását, és a radarokban hatékonyan alkalmazható TBM céltárgy azonosítást:

1. nem vízszintes célpályán, hanem ballisztikus röppályán közeledik;
2. kicsi a manőverező képessége, (az aktív röppályán való tartás mértékéig);
3. nagy a repülési sebesség, főleg a röppálya visszatérő szakaszán. A repülési sebességek között típusonként és röppályánként eltérések vannak. Ez rendkívül jelentős Doppler-frekvencia eltolást eredményezhet, melyet koherens radarjel feldolgozással pontosan mérhetünk;
4. a rakéta felszálló ágán nagy az RCS, ha a rakéta hosszanti tengelyével megegyező polarizációjú kisfrekvenciás radarral sugározzuk be;
5. 200 km-t meghaladó indítás esetén, a föld görbülete miatt állócélokkal nem kell számolni, de 8–9 órás kihullási idővel rendelkező dipólfelhőkkel igen;
6. a rakéta, a felszálló ágon a radarhoz képes kis radiális sebességgel bír. Ha a mozgócél-indikátor/ - detektálás (MTI/MTD) rendszer nincs felkészítve a TBM detektálásra, a radar könnyen elveszítheti („kiszűri”) a hasznos jelet;
7. az égésvégi pont után kicsi az RCS, mert több típusnál a hajtómű (kiégése után) leválik, és csak a robbanófej repül tovább;
8. a röppálya indítási és visszatérő szakaszát kivéve, a rakéta nagy magasságban, ritka légkörben repül. A levegő törésmutatója gyorsan változik és ezt a rádióhullámok két utas terjedése szempontjából figyelembe kell venni;
9. a visszatérő röppályán való mozgása nagy (30–70°) eleváció szerinti detektálási képességet kíván a légtérelenőrző radartól;
10. a becsapódása nagy elevációs szögön történik. A becsapódási szög értéke változó, a rakéta típusától és a beprogramozott optimális röppályától függ;
11. a hadszíntéri rakéta által előidézett aktív zavarással nem kell számolni.

A hadszíntéri rakéták minél távolabbi megsemmisítésének követelménye és a nagy célsebességből adódó rövid reakcióidő megköveteli a hadszíntéri rakéták több száz kilométeres távolságban történő detektálását (felderítését) útvonalba fogását és azonosítását, valamint az információ azonnali eljuttatását a felhasználóhoz, hogy az valós időben megtehesse ellenintézkedéseit. Az állásidő előrejelzése a hibajavító tevékenységnek köszönhetően.

A 2. ábra a magyar légvédelem harcászati teljesítőképességének felmérésére használt (1970–1980-s és 1990-s évek eleje) UAV és TBM teszteszközök repülési profiljai és sebességadatait szemlélteti. (Nyílt szaksajtóban publikált. A radarok helyzete a 0-ponttól 10–60 km távolságban.)

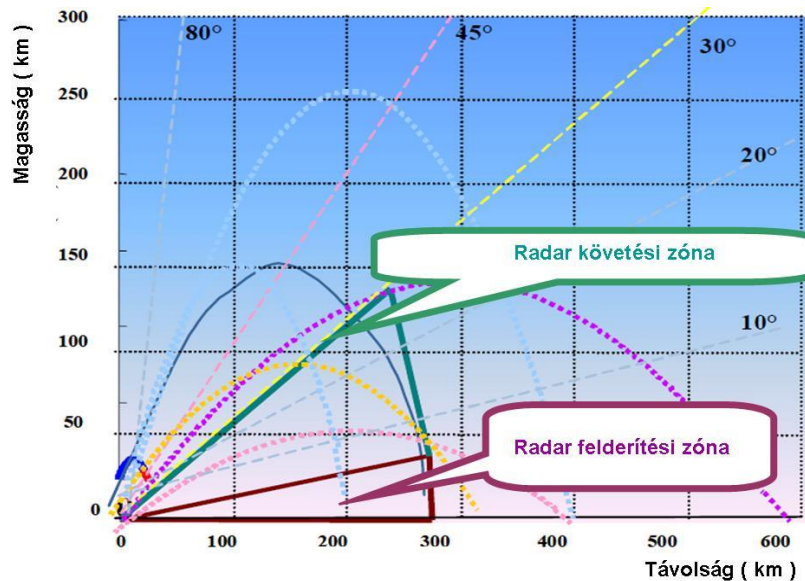


2. ábra Valós UAV és TBM test profilok⁶ [3]

⁶ Veres Mihály: Légvédelmi rakétafegyverek légterünk védelmében. Haditechnika, 2000. 3. sz. p. 8-16.

Air surveillance radar – TBM detektálás (útvonalba fogás) azonosítás – sajátosságai

A különböző elevációs mérési képességekkel rendelkező radarok céltárgy detektálási képességeinek távolság- és elevációban való mérési lehetőségeinek szemléltetésére készült a 3. ábra. Ezek a paraméterek, valamint a térletapogatás ideje alapvetően behatárolják a TBM típusú célok detektálásának lehetőségeit. A 3. ábra és a 2. táblázat segítségével ez könnyen belátható. A 2. táblázat azt szemlélteti, hogy a TBM rakéta, ha a radarhoz képest 100, 300, 600 és 1000 km távolságon kerül indításra, hány másodpercig tartózkodik a különböző eleváció tartománnyal rendelkező radarok detektálási terében, ha átlagsebessége 100 és 1000 m/s.



3. ábra Ballisztikus rakéta pályák

A 2. táblázatból látható, hogy a TBM átlagsebességének növekedésével a radar által történő detektálhatósága lineárisan csökken. A TBM detektálhatósága értékelésénél figyelembe kell venni a távfelderítő radarok 5, 10, illetve 12 másodperces adatfrissítési idejét, valamint azt a tényt, hogy a hamis riasztások miatt nem elég detektálni a TBM-et, de egyben útvonalba is kell fogni a detektált plotokat. Ezért az útvonalba fogáshoz legalább három egymás utáni céltárgy detektálást kell kiértékelni, melyet könnyebben teljesíthetők, ha a TBM mozgását az egymást függőlegesen részben átfedő sugárnyalábokban vett jelek detektálásával és párhuzamos kiértékelésével oldják meg. Amikor a céltárgy átlagsebessége a lehetséges megfigyelési idő alatt 100 m/s, akkor a 100 km távolságon indított rakéta útvonalba fogásához TBD legalább 20°-os elevációs tartománnyal rendelkező radarok esetén van esély, 10 s adatfrissítési idővel. Nagy sebességek ($v=1000$ m/s) esetén a 30°-os elevációs tartomány és a 10 s adatfrissítési idő csak 600 km távolságból indított rakéták detektálását teszi lehetővé.

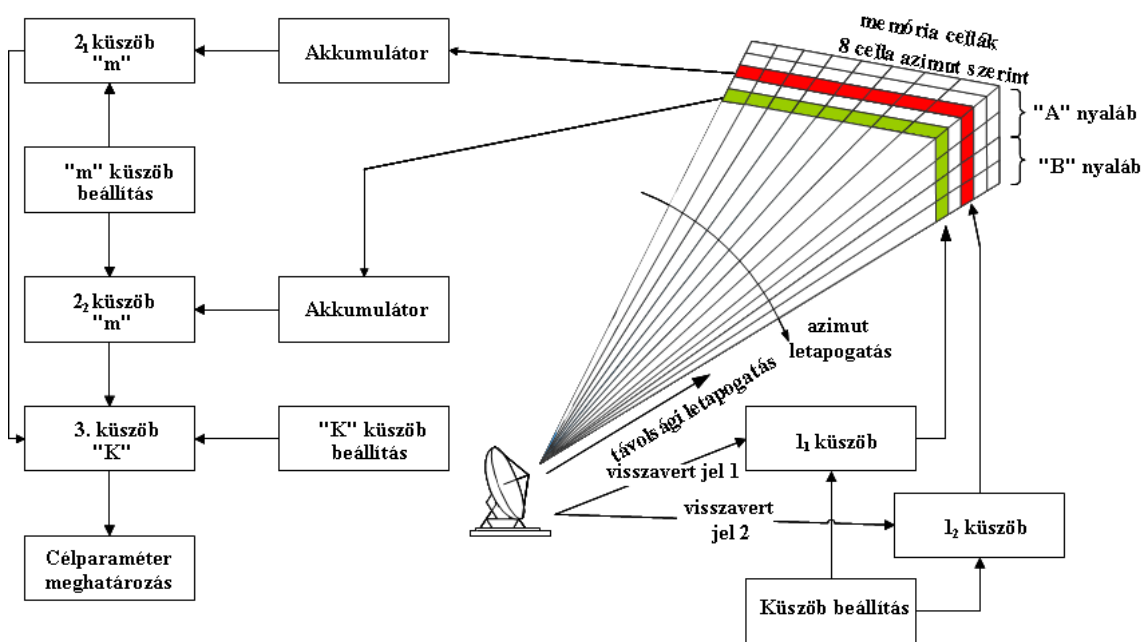
Az eredményekből megállapítható, hogy 10 másodperces adatfrissítéskor csak a radarhoz távoli indítások esetén van esély a TBM detektálására és útvonalba fogására.

$v=100$ m/s	100 km	300 km	600 km	1000 km
15°	26,8 s	80,38 s	160 s	267,9 s
20°	36,39 s	109,19 s	218 s	363,9 s
30°	57,77 s	173,2 s	346 s	577,7 s
45°	100 s	300 s	600 s	1000 s
$v=1000$ m/s				
15°	2,68 s	8,038 s	16,0 s	26,79 s
20°	3,639 s	10,919 s	21,8 s	36,39 s
30°	5,777 s	17,32 s	34,6 s	57,77 s
45°	10,00 s	30,0 s	60,0 s	100,0 s

2. táblázat A TBM detektálhatóság ideje

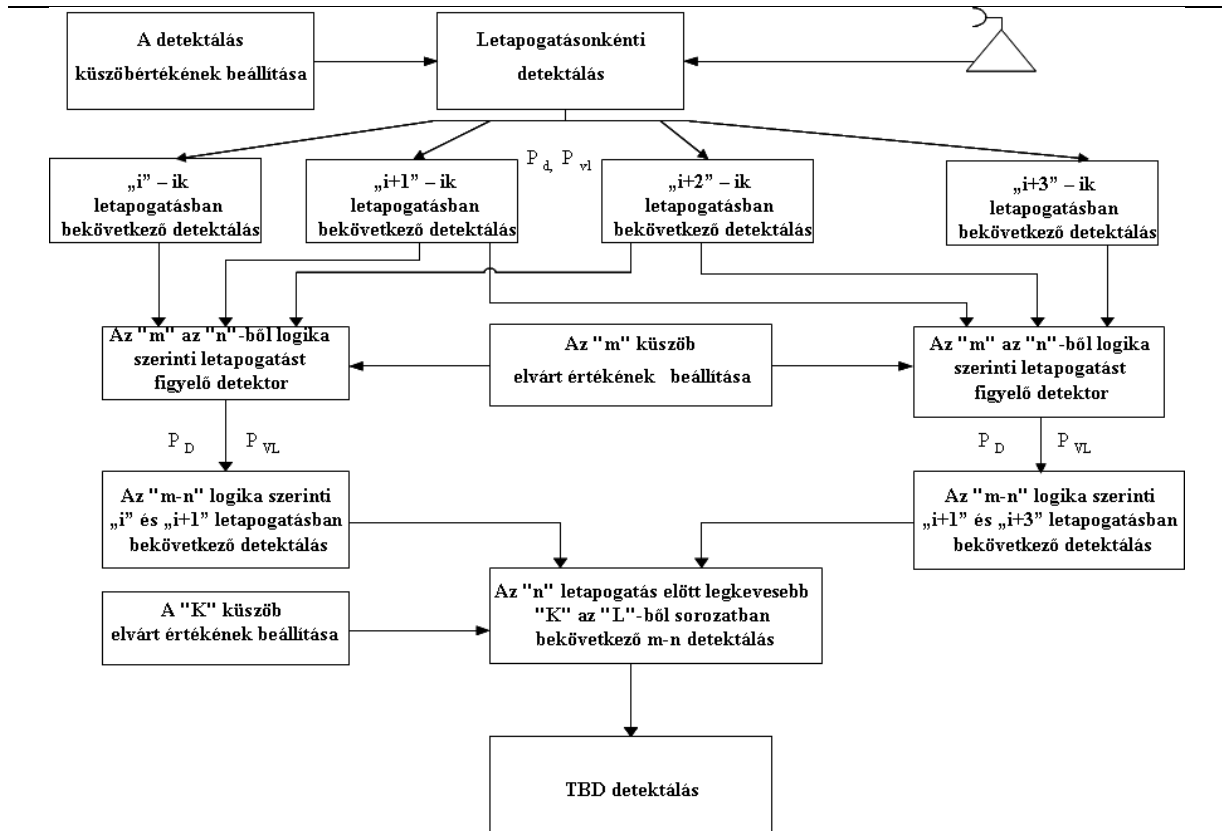
A TBM detektálás megvalósítása olyan nagy teljesítményű és antennanyereségű radarokkal lehetséges melyek mérési pontossága és felbontóképessége úgy oldalszögben, mint emelkedési szögben eléri a később meghatározott értékeket.

Az adatfeldolgozás megvalósítása történhet „hagyományos” 3 küszöbös módszerrel. A folyamat egyszerűsített vázlatát a 4. ábrán látható.



4. ábra A háromküszöbös detektálás elve

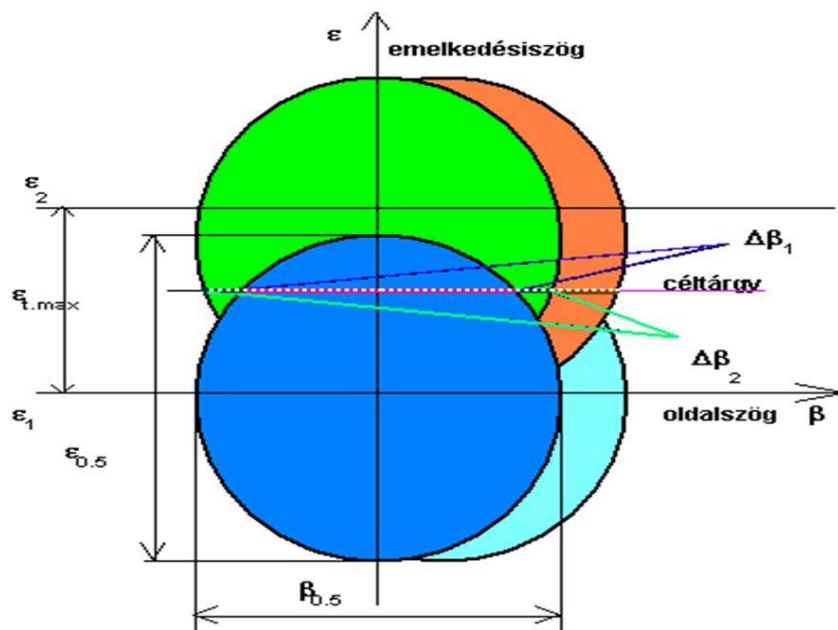
Az eljárás egyszerűsített algoritmusát az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra A háromküszöbös detektálás algoritmusá

Az 5. ábrán bemutatott algoritmus nagyobb biztonsággal képes a TBM eszközök detektálására, ha a küszöbképzés figyelembe veszi a radar sajátosságai. Ezek közül a legfontosabb a harmadik küszöb értelmezése („K” az „L”-ből logika) paraméter érvényességének pontos meghatározása.

A 6. ábra, a céltárgy emelkedési szögének meghatározásához szükséges nyálábparamétereket szemlélteti, melyre érvényes a 7. ábra korrelációs kapuval kapcsolatos megállapításai.



6. ábra Többszörös átfedésű rádiólokációs tér

ahol:

- $\varepsilon_{0,5}$ és $\beta_{0,5}$ – a félteljesítményű nyalábszélességet jelöli elevációban, illetve oldalszögben,
- $\Delta\beta_1$ illetve $\Delta\beta_2$ – a céltárgy helyén a sugárnyaláb oldalszög szélessége, míg
- $\varepsilon_{t,max}$ – a két sugárnyaláb maximumpontok szöghelyeltérése.

A Neymann–Pearson–féle döntési szabály érvényességét feltételezve, legyen S_k darab olyan (logikai „1” és „0”-ból álló) sorozat, melyek hossza „S” és értéke $S = n+L-1$, S_k . Ha csak zaj van jelen, akkor az „S” sorozat kimenetén a vaklárma valószínűség⁷:

$$\Pi_{VL,k} = p_{vl}^1 (1 - p_{vl})^{S-1} \quad (1)$$

A teljes térre, minden S_k sorozat kimenetét felhasználva az összegzett vaklárma valószínűség:

$$\Pi_{VL} = \sum_k \Pi_{VL,k} \quad (2)$$

Általában ismert p_{vl} valószínűsége elvart jel-zaj viszonyra ezért a 2. egyenlet megoldható.

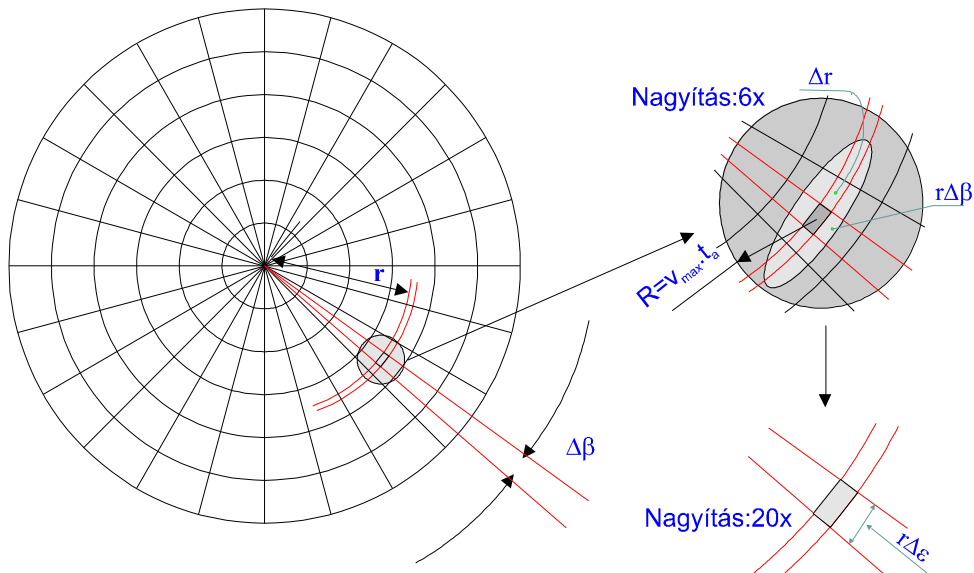
A detektálási valószínűségek meghatározása, hasonlóan a (1). egyenlethez:

$$\Pi_{D,k} = p_d^1 (1 - p_d)^{S-1} \quad (3)$$

A teljes térre, minden S_k sorozat kimenetét felhasználva az összegzett vaklárma valószínűség:

$$\Pi_D = \sum_k \Pi_{D,k} \quad (4)$$

Néhány praktikus számadat.



7. ábra A korrelációs kapu jellemzői

⁷ [BLA1]–64. oldal

A 7. ábra a korrelációs kaput és főbb jellemzőit szemlélteti az egyszerű megértés érdekében kétkoordinátás radar (PPI) indikátorán.

Vegyük észre, ha ismert a detektált cél radiális sebessége a korrelációs kapu mérete jelentősen csökken (az 7. ábrán a 6x nagyítás szürkített oválisa). A 7. ábra felhasználásával könnyen felírható az elemi cella térfogata 3D radar esetén. Az ábrából egyértelműen látható, hogy az elemi cella köbtartalma távolságfüggő. Pontosabban a terület és a térfogat azonos, de ennek következtében a belsejében található elemi cella mérete változó. Azok a céltárgyak, melyek a radar felderítési zónájának távoli határa közelében találhatók nagyobb oldalszög- és eleváció méretű oldalakkal fognak rendelkezni, mint azok melyeket a települési hely közelében detektál a radar, ugyanakkor a korrelációs kapu mérete nem változik.

Egy önálló radarra vonatkoztatva a korrelációs kapuban található elemi cellák számát (N) és a várható vaklárma–valószínűséget (hamis plotképzés, téves pályaképzés) egyszerűen számítható. Három különböző hullámtartományban üzemelő radar esetén a radarok felbontása és így az elemi cellák mérete jelentősen eltér egymástól. A különböző hullámtartományú radarok azonos méretű korrelációs kapuban található elemi celláinak számát szemlélteti az 3. táblázat, ahol a 3D radartól függő adatok:

- a radar(adó) indításának periódusideje 3,5 ms, adatfrissítési ideje 10 s (távolfelderítő radar üzemmód);
- a „VHF” sávú radar adójel pillanatnyi sávszélessége 1 MHz;
- az „L” („S”) sávú radaradó-jel pillanatnyi sávszélessége 4 MHz;
- az „X” sávú radaradó-jel pillanatnyi sávszélessége 8 MHz (kereső üzemmódban) és 500 MHz céltárgy azonosítás üzemmódban;
- $\Delta\varepsilon$ – a radar tartomány ismert legjobb felbontás értékei.
- Céltárgytól függő paraméterek:
- TBM típusú céltárgy maximális sebessége 1000 m/s;
- a céltárgy távolsága a lokátortól 10–600 km.

A 3. táblázat oszlopai és egymás után következő sorai szemléletesen bizonyítják, hogy minél jobb a radar felbontása, annál több a korrelációs kapuban lévő cellák száma.

$t_a=10$ s	„VHF”	„L” („S”)	„X” (8 MHz)	„X” (500 MHz)
$r=10$ km	$1,0 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^7$	$8,2 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^9$
$r=30$ km	$1,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^6$	$9,1 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^8$
$r=50$ km	$4,0 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^8$
$r=75$ km	$1,7 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$	$8,8 \cdot 10^7$
$r=100$ km	$1,0 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^5$	$8,2 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^7$
$r=150$ km	$4,4 \cdot 10^3$	$8,4 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^7$
$r=300$ km	$1,1 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^6$
$r=450$ km	$4,9 \cdot 10^2$	$9,3 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^6$
$r=600$ km	$2,7 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^6$

3. táblázat A korrelációs kapuban található elemi cellák száma

A korrelációs kapuban található elemi cellák száma közvetlenül befolyásolja a céltárgy-detektálásra környezetében (a korrelációs kapuban) elvárható vaklárma–valószínűséget. Ha adott, hogy egy távolsági cellában a $P_{VL} = 10^{-6}$, akkor a különböző hullámtartományú, 3D radarok korrelációs kapuiból az eredő vaklárma–valószínűség az 4 táblázat szerint alakul.



$t_a=10\text{ s}$	„VHF”	„L” („S”)	„X” (8 MHz)	„X” (500 MHz)
r=10 km	0,63	0,99	1	1
r=30 km	0,11	0,87	0,99	1
r=50 km	0,04	0,53	0,95	1
r=75 km	0,01	0,28	0,75	1
r=100 km	0,01	0,17	0,56	0,99
r=150 km	0,004	0,08	0,30	0,99
r=300 km	0,001	0,02	0,08	0,99
r=450 km	0,0005	0,01	0,04	0,91
r=600 km	0,0002	0,005	0,02	0,75

4. táblázat A korrelációs kapuban megjelenő vaklárma értéke ($P_{VL}=10^{-6}$)

A magas vaklármaszint esetén megállapítható, hogy értéke a különböző típusú céltárgy-detektorokkal beállítható, de a túl magas küszöbszintek alkalmazása jelentős jel-zaj viszony emelkedéssel jár. Kézenfekvőnek látszik a korrelációs kapu (és ezen keresztül a vaklárma) csökkentése az adatfrissítési idővel.

Legyen az adatfrissítési idő 1 s és egy távolsági cellában elvárt vaklárma-valószínűség $P_{VL}=10^{-6}$. Ekkor a különböző hullámtartományú radarok korrelációs kapuiból az eredő vaklárma-valószínűség az 5. táblázat szerint alakul.

$t_a=1\text{ s}$	„VHF”	„L” („S”)	„X” (8 MHz)	„X” (500 MHz)
r=10 km	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$
r=30 km	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$
r=50 km	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
r=75 km	$0,4 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$
r=100 km	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
r=150 km	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
r=300 km	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$
r=450 km	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$9,3 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
r=600 km	$0,2 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$

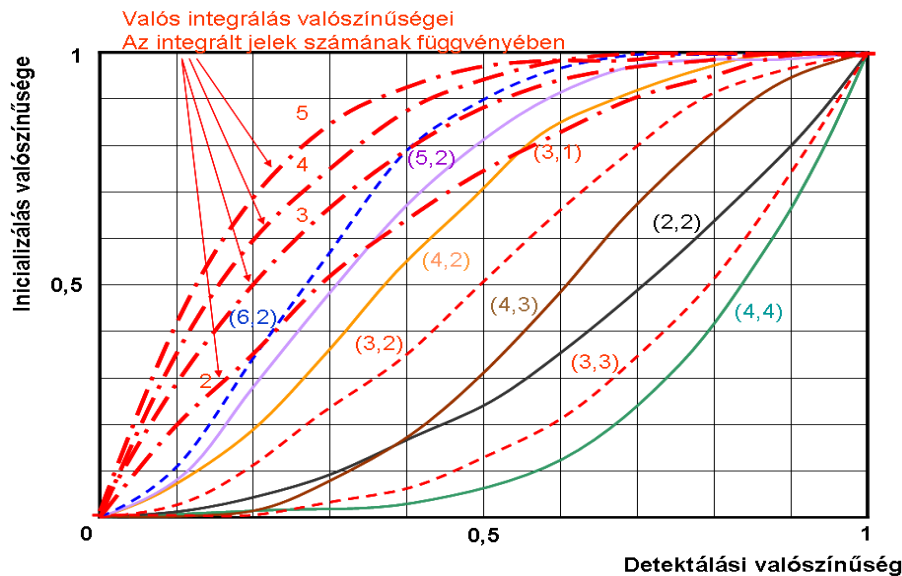
5. táblázat A korrelációs kapuban megjelenő vaklárma értéke ($P_{VL}=10^{-6}$)

Úgy tűnik az adatfrissítési intervallum csökkentésével a korrelációs kapuban megjelenő vaklárma értéke kézben tartható és szabályozható. A radar egyenlet szerint, ahhoz, hogy megfelelően nagy detektálási valószínűséget lehessen biztosítani nagy adóteljesítmények, antennanyereség és hosszúidejű céltárgy-besugárzás szükséges. Jelenlegi ismereteink szerint ez csak rendkívül költséges elektromos sugárnyaláb mozgatással, vagy nagyszámú (csak a volt Varsói Szerződés idején alkalmazott) radar rendszerbenntartásával biztosítható.

Az 4. és 5. táblázat további analiziséből következik:

- a radarok felbontásának növekedésével, jelentősen nő a korrelációs kapun belüli hamis plotképzés valószínűsége. Ez különösen a radarok települési helyei közelében magas;
- A céltárgy több egymás melletti cellában is detektálásra kerülhet a mozgáspáraméterek függvényében;
- az azonos méretű korrelációs kapun belüli legkisebb vaklárma-valószínűségeket a VHF radarok biztosítják;
- a radar települési helyétől távolodva a korrelációs kapuban megjelenő vaklárma-valószínűség jelentősen csökken;

- az egyszerű kezelhetőség miatt, a korrelációs kapun belül célszerű a különböző hullámtartományú radaradatok-fúziójához azonos vaklármá- valószínűséget biztosítani. Ebben az esetben viszont a különböző hullámtartományú radarokban, a távolságtól is különbözőképpen függő elvárt vaklármá- valószínűségeket kell alkalmaznia;
- a mozgó ablak detektorok („K” az „L”-ből logika: K/L) elfogadási küszöbszintjeit változtatni kell a TBM radarhoz viszonyított elvárt távolságának függvényében. Közelítő feltételek: 6/6; 5/5; 4/4; 3/3; 5/6; 4/5; 3/4; 3/5; 2/3; 2/2; 1/2; 1/1; A lehetőségeket szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra Az útvonal inicializálás valószínűsége⁸ [4]

A különböző típusú radarok információ feldolgozásánál az elemi cellatartalmat kell az adatfeldolgozó algoritmusoknak kezelni. Gyakorlatból ismert, hogy a TBM „VHF” radar számára Sw2 típusú céltárgy az „L” vagy „S” sávú radar számára Sw3 vagy Sw4, míg az „X” sávú radar számára Sw 4 típusú céltárgyként jelentkezik. Az algoritmusban optimális Swerling modell típusa az adott aktuális helyzetben elvárható függ továbbá a hullámterjedéstől és radar TBM irányába jelentkező RCS profil és Doppler komponensektől. Ismert, hogy az L frekvenciasávban üzemelő légtérellenőrző radar esetén felszínről történő visszaverődés, valamint a légkör törésmutatójának megváltozása következtében:

- a radarhoz közeli tartományokra 10–100 km-ig a légkör törésmutató-változása nem okoz 1 dB-nél nagyobb eltérést.
- földközeli magasságokon 100 és 200 km között a veszteség elérheti a +20 dB (negatív „k” esetén).

Ha a radar TBM detektálás közben frekvencia hopping üzemmódra tér át a TBM detektálás (útvonalba fogás) azonosítás optimalizálásának algoritmusait a csoportos frekvenciaváltások függvényében újra kell képeznie, hiszen a PD és PFA romlás elkerülhetetlen a jel-koherencia elvesztésével. Korszerűbb megoldások alapja a „Particle filters” alapokon nyugszanak.

⁸ Ósz Sándor (1998): ARIS, Bevezetés és rendszerparaméter analízis. Egyetemi tankönyv. Budapest, ZMNE. p. 210



VÉGKÖVETKEZTETÉS

Napjaink gyorsan fejlődő polgári és katonai légi járműveinek aerodinamikai lehetőségei megkövetelik az RT rendszer folyamatos fejlesztését. Mivel ez a folyamat rendkívül költséges ezért szükséges a lehetőségek előzetes szimulációkat is magába foglaló felmérése, elemzése. A cikk áttekintette a TBM röppályák detektálásához szükséges és ésszerűen elvárható körülményeket. Osztályozta és értékelt a légtérkiterjesztés elvárásait és a legegyszerűbben megvalósítható algoritmusok nyújtotta előnyöket.

Megállapítható, hogy az olyan radarok vagy radar-rendszerek, amelyek 15° -nál kisebb emelkedési szögtartománnyal rendelkeznek párhuzamos jel feldolgozással még optimális TBM pozíciók esetén sem képesek a hatékony TBM detektálásra.

A TBM detektálás valószínűségének növeléséhez mindenképpen növelni kell a párhuzamosan feldolgozott jelek (csatornák által lefedett) az emelkedési szögtartományt legalább 45° -ra, de kívánatos a 70° fok és vagy az adatfrissítés idejét legalább 2–5 másodpercre.

Legfontosabb megállapításunk, hogy napjaink korszerű szoftver alapú jelfeldolgozással rendelkező radarjaiban aránylag kis költséggel flexibilisen utólag is beépíthetők a kor színvonalának megfelelő technikai megoldások.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FIELD MANUAL No. 44-100 US Army Air Defense Operations. Washington DC, Headquarters of the Army, 1995. Chapter 2: Theatre. Chapter 3: Joint Counterair and Theatre Missile Defense Doctrine. 37-39. p
- [2] RUTTKAI LÁSZLÓ A légvédelmi rakétaegység harcászati ballisztikus rakéták elleni harcrendjének megtervezéséről, Hadtudomány 1999. 3–4. sz. p. 62–74
- [3] VERES MIHÁLY Légvédelmi rakétafegyverek légterünk védelmében. Haditechnika, 2000. 3. sz. p. 8-16.
- [4] ÓSZ SÁNDOR Bevezetés és rendszerparaméter analízis. Egyetemi tankönyv. (1998) ARIS, Budapest, ZMNE. p. 210