

Ványa László¹

NAVIGÁCIÓS BERENDEZÉSEK ZAVARÁSA ÉS MEGTÉVESZTÉSE²

Az elektronikai hadviselés fontos része az elektronikai ellentevékenység, amely magába foglalja többek között az elektronikai zavarást és az elektronikai megtévesztést. A repülésben használt navigációs berendezéseket is fenyegetik a speciális eszközökkel létrehozott zavarjelek. A cikk bemutatja néhány navigációs rendszer elektronikai támadásának módszerét. A 80-as években már a TACAN harcászati rádió-navigációs rendszerre is létezett mobil zavaró állomás, de a mai korszerű globális műholdas helymeghatározó rendszereket is többféle zavarási módszer fenyegeti.

JAMMING AND DECEPTION OF NAVIGATION SYSTEMS

The electronic countermeasure is important part of electronic warfare, which consists of electronic jamming and electronic deception. The jamming signals, made by special equipment threaten the navigation systems, used in aviation. This article presents methods of electronic attack against some navigation systems. There was a mobile jamming station against tactical radio navigation system TACAN at 80s and there are several jamming methods against modern global satellite navigation systems too.

BEVEZETÉS

Az elektronikai hadviselés aktív, támadó oldalához tartozik a szemben álló fél elektronikai berendezéseinek zavarjelekkel, zavaró hatásokkal való besugárzása, amely következtében azok a rendeltetésüknek megfelelő feladatokat nem, vagy csak korlátozottan képesek ellátni. A támadó oldal általában egy lépés hátrányban van, mivel először meg kell ismernie a szemben álló fél újabb berendezésének paramétereit, működési elvét, sebezhető pontjait és csak az után kezdhet bele egy-egy speciális eljárás, berendezés kidolgozásába.

Az elmúlt évtizedekben kidolgozott elektronikai hadviselési zavaró állomások nagy része általános rendeltetésűnek mondható. Ilyenek például a rövid- és ultrarövid-hullámú rádiózavaró állomások, amelyek a teljes 1,5–30 MHz, illetve 20–100 MHz tartományt átfogták és nem egy adott rendszer ellen készültek. Ilyenek voltak a légvédelmi rádiótechnikai zavaró állomások, amelyek az adott hullámtartományban működő igen sokféle rádiólokátor ellen hatékonyan vetk fel a harcot, vagy akár a rádiógyújtó zavaró állomások, amelyek a rádiógyújtóval szerelt tűzérségi lövedékek, aknagránátok zavarására készültek.

A zavaró berendezések másik csoportja speciálisan egy-egy konkrét rendszer ellen készült. Ezek működési elvüket, eljárásaikat tekintve szofisztikáltabbak voltak, általában nem működésképtelenné tették a szemben álló fél berendezését, hanem célszerűen észrevétlenül meghamisították annak mérését, átvették felette az irányítást, majd a valóságtól egyre inkább eltávolodó információtartalmú jelekkel eltérítették eredeti feladatától. A szárazföldi tájékozódásban

¹ ezredes, habilitált egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, HHK, vanya.laszlo@uni-nke.hu

² Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, drmi48@gmail.com



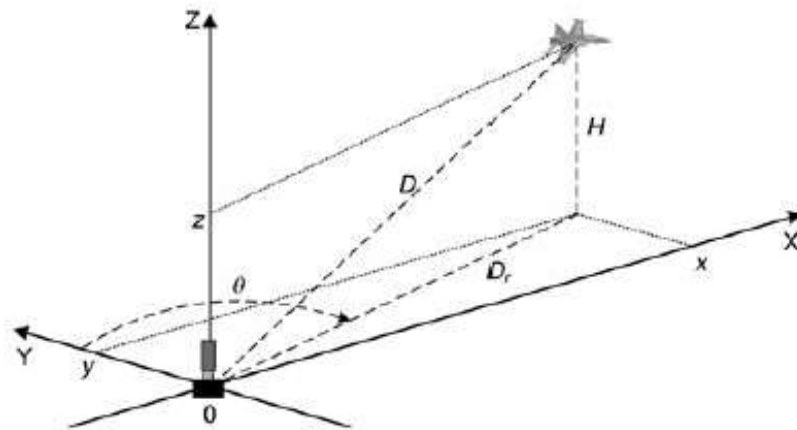
és a repülésben használatos, elsősorban rádiótechnikai elvű navigációs berendezések is évtizedek óta célobjektumai az elektronikai hadviselésnek.

Az elektronikai zavarás és a megtévesztés a gyakorlatban nem egy és ugyanaz. A 2. kiadású Összhaderőnemi Elektronikai Hadviselés Doktrína definíciója szerint: „Az elektronikai zavarás az elektronikai ellentevékenységi funkció azon része, amely az elektromágneses energia szándékos kisugárzásával, visszasugárzásával vagy visszatükrözésével megakadályozza vagy korlátozza az ellenség által használt elektronikai eszközök, berendezések és rendszerek alkalmazását.” ... „Az elektronikai megtévesztés az elektronikai ellentevékenységi funkció azon része, amely az elektromágneses energia szándékos kisugárzásával, visszasugárzásával, módosításával, elnyelésével vagy visszatükrözésével biztosítja az ellenség vagy annak elektronikai rendszereinek megzavarását, félrevezetését vagy akadályozását.” [1] A két meghatározás között árnyalatnyi különbség van, de az a gyakorlati alkalmazás szempontjából igen jelentős lehet. Az elektronikai zavarással okozott rendeltetés szerinti működés akadályozása általában nyilvánvalóvá válik a kezelő számára, amíg a szakszerűen kivitelezett megtévesztés hatása észrevétlen, de a berendezés valótlán adatokat, célokat, paramétereket, helyzeteket szolgáltat. Egy kézenfekvő példa: ha a repülőgép vezető rádióösszeköttetését rendszeresen jellegzetes szaggatások, hanghatások akadályozzák, akkor minden valószínűség szerint szándékos zavaró tevékenységgel áll szemben. Ha azonban a légi irányítás jól ismert hangján más parancsok érkeznek, akkor ez teljesen hihető lehet, megtévesztik a végrehajtót, eltérítik az eredeti feladatától.

Jelen cikk bemutat egy olyan viszonylag réginek mondható rendszert és a speciálisan ellene kidolgozott zavaró berendezést, amely jól példázza, hogy a szofisztikált zavarási eljárás hogyan képes megoldani az észrevétlen jelátvételt és biztosítani a megtévesztés eredményességét. A cikk további részében a mai, korszerű viszonyok között széles körben használatos, globális műholdas helymeghatározó rendszer, pl. a Navstar GPS támadásának módjairól lesz szó, annak is előbb a „nyers erő” módszeréről, majd a napjainkban egyre szélesebb körben emlegetett szofisztikált megtévesztési módszeréről, a GPS spoofing-ról. Ma már bizonyos, hogy a GPS spoofing éles katonai alkalmazásán is túl van a világ.

A TACAN harcászati közelnavigációs rendszer [2]

A TACAN (Tactical Air Navigation) rendszert a nyugati országok harcászati légierője és haditengerészeti repülőgépei számára fejlesztették ki egy adott repülőtérről vagy anyahajóról a célkörzetbe való kijutás, az útvonalrepülés és a visszatérés rádió navigációs biztosítása céljából. Rendszertechnikáját tekintve egy úgynevezett szög- és távolságmérő rendszer volt, amely a hatótávolságán belül mintegy száz repülőgép számára biztosította, hogy a földi (tengeri) irányító állomáshoz képest meghatározza az északi irányhoz (Y) mért oldalszögét (Θ) és ferdetávolságát (D). A mennyiségek értelmezése az 1. ábrán látható. Működési frekvenciatartománya a 962–1213 MHz-es deciméteres frekvenciatartományba esett, a hatótávolsága a repülési magasság függvénye volt, 1000 m-en mintegy 100 km, 10 000 m-en mintegy 370–400 km. A frekvencia raszter 126 csatorna alkalmazását tette lehetővé 1 MHz-es lépésekben.



1. ábra. A repülőgép koordinátáinak értelmezése [3]

Bármely csatornán lehetőség volt a távolság és oldalszög meghatározásán kívül egy adatközlő csatornán parancsokat és adatokat továbbítani. A rendszer egy adott csatornája két frekvencián üzemelt. A földről a repülőgépre irányuló 1–63 föld-levegő (uplink) csatornák a 962–1024 MHz tartományban, a 64–126 föld-levegő csatornák pedig az 1151–1213 MHz tartományban dolgoztak. A repülőgép fedélzeti kérdező berendezések levegő-föld irányú (downlink) frekvenciatartománya az 1–63 csatornához az 1025–1087 MHz, a 64–126 csatornához pedig az 1088–1150 MHz frekvenciatartományba estek. A frekvenciapárok duplex távolsága 63 MHz.

A földi állomáson az alábbi fő egységek működnek:

- a repülőgép fedélzeti kérdező berendezés jeleinek vételére szolgáló vevő;
- impulzus üzemű adó;
- a speciális forgó antennarendszer;
- energiaellátó és egyéb berendezések.

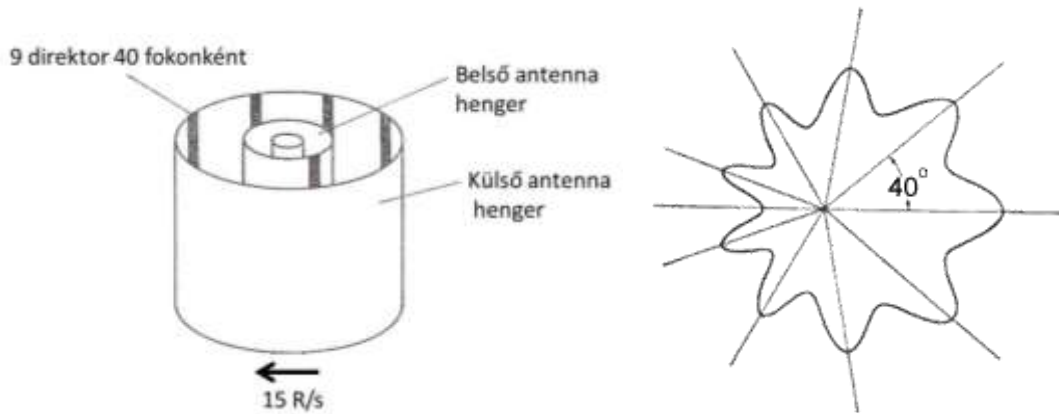
A repülőgép fedélzetén működő egységek:

- a repülőgép fedélzeti adó-vevő berendezés;
- a műszerfalra épített távolság és oldalszög indikátorok;
- az adatközlő csatorna kijelző tablója.

A távolságmérés működési elve hasonló volt az aktív rádiólokátorokéhoz, időmérésre vezették vissza. A repülőgép fedélzeti kérdező berendezés két impulzusból álló kérdezőjelet, ún. kódpárt sugároz ki. Az impulzusok szélessége $3,5 \mu\text{s}$, közöttük $12 \mu\text{s}$ távolság van. 22–30 Hz ismétlődési frekvenciával sugározza ki az adó a követő üzemmódban. Ha a vevőkészülék elveszíti a földi állomás válaszjeleit, akkor kereső üzemmódra áll át, amikor is 120–150 impulzuspárt ad másodpercenként. A ferdetávolság mérése a repülőgép – földi állomás – jelfeldolgozás – földi állomás – repülőgép útvonalon eltelt idő mérésével történik, és folyamatosan kijelzésre kerül a pilóta számára. A távolságmérés pontossága $180 \text{ m} \pm 15\%$.

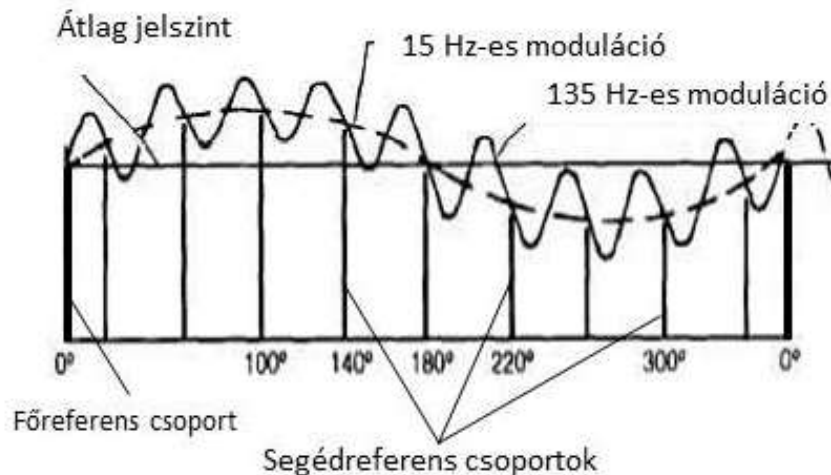
Az oldalszög meghatározása ennél jóval bonyolultabb. Az oldalszögmérő csatorna működéséhez mintegy 3000 impulzus pár/s kisugárzása szükséges a földi állomásról. Ha nincsenek a levegőben kérdező berendezések elégséges számban, akkor zajjal modulált kitöltő impulzusokat kell kisugározni.

Az oldalszög méréséhez speciális, forgó antennarendszert alakítottak ki a földi állomáson. Egy központi sugárzó körül két koncentrikus henger található, amelyek alkotója mentén helyezték el a reflektor elemeket. A belső hengeren egy, a külső hengeren kilenc darab, 40 fokként elhelyezett reflektor modulálja amplitúdóban az eredetileg körsugárzó karakterisztikát. A hengerek 15 fordulat/s sebességgel forognak, ami a kisugárzott impulzusoknak egy 15 Hz-es és ezen belül egy 135 Hz-es burkolójú amplitúdómodulációt okoznak. (2. ábra)



2. ábra. A TACAN rendszer antennájának felépítése és poláris iránydiagramja [4][5]

Az oldalszögmérés referenciáirányát a karakterisztika maximum irányának éppen keleti irányba való fordulásakor egy ún. fő referenscsoport impulzussorozat jelöli ki. Ez a fő referenscsoport 12 impulzuspárt tartalmaz, az impulzuspárok között 30 μ s időtartammal. Ettől a ponttól kezdődik az oldalszög mérés a fedélzeten. Az antennarendszer a forgásakor 40 fokként 6 impulzuspárból álló segédreferens csoportokat is kisugároz, amelyek között 24 μ s idő van. Az antennarendszer által kisugárzott távolság és oldalszög információt is hordozó jel struktúrája a 3. ábrán látható.



3. ábra. A TACAN rendszer oldalszög információjának kialakítása [6]

A repülőgép fedélzetén, az iránymeghatározás durván a fő referenscsoport és a 15 Hz-es burkolójel maximuma közötti fázisméréssel határozták meg, az oldalszög pontos értékét pedig a segédreferens és a 135 Hz-es burkoló maximuma közötti fázismérés határozta meg. A repülőgépnek a földi állomáshoz viszonyított oldalszögét a pilóta számára egy műszer folyamatosan kijelezte. A mérés pontossága a fenti módszerrel elérte az 1 fokot.

Az adatcsatorna működése során a parancs és az erre adandó válasz kódolva került kisugárzásra. A repülőgép fedélzeti üzenet mintegy 3 μ s időtartamú és a távolsági kérdező jelek között kerül kisugárzásra, a földi állomás adatjelét 12 μ s hosszúságban, minden harmadik segédreferens csoport után adták. A földi állomások az azonosítás kedvéért 775 s-onként három karakterből álló, Morse-kódot is kisugároztak.

Az orosz gyártmányú R-388, a TACAN harcászati közelnavigációs rendszer zavaró állomása [2]

Az R-388 típusú zavaró állomás olyan földi, mozgó, automatizált berendezés, amely a TACAN rendszerbe tartozó fedélzeti vevőkészülékek oldalszög-, távolságmérő és adatközlő csatornájának zavarására készült. Egy R-388 állomás képe látható a 4. ábrán.



4. ábra. Az R-388 (NATO kód: STOVE PIPE) zavaró állomás telepített antennával. [7]

Az állomás vevőberendezése a repülőgépek fedélzeti kérdező berendezéseinek sávjában, az 1025–1150 MHz tartományban üzemel. A kérdező jelek észlelésekor azonosítja azokat, ráhangol az adott csatornára és lehangolja az adórendszert is a megfelelő duplex adófrekvencia párra. Ez megegyezik a földi TACAN állomás adófrekvenciájával. Az amplitúdóban 15 és 135 Hz-el modulált jelek imitálása céljából 5 és 14 kW impulzusteljesítménnyel sugározza ki a zavaró jeleket. A berendezés átlagteljesítménye mintegy 250 W.

Az előállított zavaró jelek időparamétereiket tekintve csak kismértékben térhetnek el az irányító állomás által előállított jelektől. Az oldalszögmérő csatorna mérésének meghamisítása érdekében az amplitúdó moduláció és a referens impulzuscsoportok közötti fázisviszonyt kell megbontani. Az irányító állomás és a zavaró állomás referens impulzus csoportjai egyidőben jelen vannak a vevőkészülékben, ami a pontos fázismérést megakadályozza.

A távolságmérő csatorna lefogásához az irányító állomás és a zavaró állomás jeleinek időben egyszerre kellene megérkezni, ami akkor teljesülne, amikor a repülőgép egyenlő távolságra van a két állomástól. Ez a helyzet a két állomás közti egyenes felező merőleges vonalában, illetve 3 dimenzióban tekintve, a felező síkban következik be. Attól kezdve, hogy a repülőgép a felező síkhoz ér, a zavaró állomás válaszjele előbb ér a repülőgéphez, mint az irányító állomás jele.



Mivel a zavaróállomás nem ismeri pontosan a földi állomás és a repülőgép közti távolságot, ezért a távolságmérő csatorna lefogása nem egyedi válaszjelekkel, hanem válaszjel impulzuspár sorozattal történik. Ekkor a fedélzeti vevő vagy a zavaró állomástól való távolságot kezdi mutatni, vagy kereső üzemmódra kapcsolja át a fedélzeti berendezéseket.

Az adatcsatorna lefogásához a zavaró állomásnak úgy kell időzítenie a zavaró impulzusokat, hogy azok egyidőben legyenek jelen a fedélzeti adatcsatorna vevőben. Mivel nem ismert, hogy mikor indul az első parancs, ezért csak a második, és minden ez után következő parancsra tudott válasz zavart előállítani.

A fentebb leegyszerűsítve összefoglalt működési elvek megismeréséből levonható az a következtetés, hogy a valóban hatékony és eredményes megtévesztő zavarás előállítása igen csak esetleges és rövid idejű. A repülőgép vezetője a zavaró állomás energetikailag hatékony zavarási zónájába érve, illetve a két földi állomás közötti felező síktól kezdve a zavaró állomás által adott jelek feldolgozásából nyert kijelzéseket látja, amelyek rendszertelenül váltakozva hol hihető, hol nem hihető értékeket adnak, vagy akár kereső módba kapcsolják át a vevőrendszert. A parancsközlő csatorna „elhallgat”, az egész rendszer bizonytalanná válik, így navigációs okokból a feladat végrehajtása kritikussá válik. Gyakorlott és erre felkészített pilóta tudni fogja, hogy erre a berendezésre a továbbiakban nem számíthat. Ugyanakkor ez hatásában olyan, mint ha a földi állomás hatótávolságának határára ért volna. A valóban szofisztikált, megjelenésében észrevétlen, hatásában mégis eredményesen megtévesztő zavarás kidolgozására néhány évtizedet várni kellett.

A NAVSTAR és más globális műholdas navigációs rendszerek zavarása

A globális műholdas navigációs rendszerekből több is létezik, illetve áll fejlesztés alatt, úgymint az amerikai NAVSTAR GPS, az orosz GLONASS, a kínai BEIDOU, illetve COMPASS, az indiai IRNSS, a japán QZSS, valamint az EU országok együttműködésével épülő GALILEO. Jelen cikk kereteiben nem térünk ki részletes ismertetésre egyik esetében sem, mivel ennek igen széles szakirodalma van, sok korábbi publikáció foglalkozik velük. Egy szempontból, a zavar-tatás szempontjából fogunk megoldásokat vizsgálni.

A NAVSTAR rendszer két vivőfrekvencián: $L_1=1575,42$ MHz és $L_2=1227,60$ MHz sugároz CDMA spektrum-kiterjesztésű kódfázis modulált jeleket. A civil vevőkészülékek csak az L_1 frekvencia vételére és a C/A kód feldolgozására alkalmasak katonai megfontolásokból. A műholdak távolsága a Földtől 20200 km, ami azt jelenti, hogy a vehető jelszint igen alacsony.

A legegyszerűbb és sokáig jól is működő zavarási eljárás a jól ismert, szabványos frekvenciák célzott zajzavarása volt, amely megakadályozta a műholdak jeleinek vételét, mivel jelszintjük sok nagyságrenddel meghaladta azokat. Az 5. ábrán egy 1997. augusztus 19–24. közötti, Moszkva melletti airshow alkalmával kiállított, talán első katonai célú GPS/GLONASS zavaró berendezés képe és adatlapja látható. A 4 W kimenő teljesítménnyel 150–200 km hatásos zavarási távolságot jegyeztek, ami azt jelenti, hogy ebben a körzetben a műholdak jeleit a vevőkészülékek nem képesek feldolgozni, vagyis olyan képet mutatnak a vevők, mintha rádiófrekvenciás árnyékban lennének.



5. ábra. Egy korai orosz gyártmányú GPS/GLONASS zavaró berendezés [8]

A 6. ábrán egy GPS/GLONASS/GALILEO rendszer elleni aktív zavaró tevékenységre tervezett orosz gyártmányú zavaró berendezés látható, amelyet a 2007-es Moszkva, Zsukovszkijban megrendezett MAKS-2007 nemzetközi repülő és űrhajózási szakkiállításon állítottak ki.



6. ábra. Több műholdas navigációs rendszer ellen is alkalmas zavaró berendezés [9]



7. ábra. Az orosz Aviaconversia nagyteljesítményű GNSS zavaró berendezése [10]

A 7. ábrán látható zavaró berendezést használták a 2003-as iraki bombázások idején az amerikai JDAM (Joint Direct Attack Munition) GPS navigációval működő bombák irányítórendszerének megzavarására. Az Aviaconversia orosz haditechnikai vállalat közlése szerint a kisebb, 2–3 W kimenő hatásos teljesítményű berendezések hatótávolsága mintegy 50 km, a nagyobb, 20 W-osak hatótávolsága mintegy 150 km. [10]

A katonai célú és fejlesztésű eszközök mellett tömegével jelentek meg a webáruházakból rendelhető kisméretű, kézi zavaró berendezések, amelyek elsősorban a bűnözői körök céljait szolgálják, hiszen normális körülmények között ki másnak fűződik érdeke ahhoz, hogy megghiúsítsa a navigációs eszközök és a mobil telefonhálózat használatát. A nagy értékű gépkocsikba, teher szállító járművekbe telepített járműkövető rendszerek blokkolásával lehet alkalmat teremteni a járművek, szállítmányok ellopásához, illetve a bennük lévő jeladók hatástalanításáig. Két példa a számtalan közül látható a 8. ábrán. A kettő ára együtt 224 USD.



8. ábra. Kínai gyártmányú 3G telefon és GPS zavaró berendezések. [11]

Mindezek az eszközök és eljárások a műholdas szolgáltatás megszakításával egyértelművé tesszik a kezelők számára, hogy az eredeti feladatára használhatatlan a készülékük. Az oka nem egyértelmű, de a helyzet világos.

A sztochasztikus zajzavarok ellen fejlesztették ki az ún. nullázásos (nuller) rendszerű zavarvédelmi eljárásokat. Ilyen például a NovAtel cég „GAJT™ Dual-Frequency GPS Anti-jam Antenna” nevű eszköze. [12] (9. ábra) A GAJT 7 db antennát tartalmaz, amelyek képesek 6 zavaró forrás irányba nullhelyet illeszteni az antenna iránykarakterisztikába. Az eljárás lényege, hogy minden antenna egy vezérelhető csillapító-fázistoló tagon keresztül csatlakozik a jelösszegzőre. A nagysebességű jelfeldolgozás olyan fázis és amplitúdó viszonyokat állít be, amely az adott irányban minimum, illetve nullhelyet hoz létre. [13]

Ezen kívül még jó néhány zavarvédelmi eljárás és alkalmazás létezik, (IGAS, SIRIAS, MIND, DIGAR, stb.) amelyekről pl. a [14] irodalomban lehet további információkat találni.



A továbbiakban egy olyan újnak mondható eljárás lényegét tekintjük át, amely a valóban szofisztikált, megtévesztő elektronikai zavarás módszere és ez a spoofing. Lényegét tekintve a navigációs vevőt olyan jelekkel sugározzuk be, mint ha az, egy teljesen más helyen lenne. Fő jellemzője, hogy úgy tűnik, minden teljesen rendben van, nem szakad meg a jel.



9. ábra. A GAJT (GPS Anti-Jam Technology) harcjárműre installálva [15]

A spoofing technika elsősorban a kezelő személyzet nélküli, önálló, vagy fél autonóm módon feladatot végrehajtani képes eszközök, pilóta nélküli repülőgépek, szárazföldi vagy vízi járművek, robotikai eszközök ellen jelent komoly kockázatot, de a kezelők jelenléte sem garancia arra, hogy észrevegyék a spoofing támadást.

A híradásokban több elhíresült esetet is találunk. A legnagyobb port a titkos amerikai RQ-170 lopakodó pilóta nélküli repülőgép Iránban való leszállítása verte fel 2011. december 4-én. Ezzel egy korábbi publikációm is foglalkozik.[16] Azóta a szakértők egyetértenek abban, hogy a navigációs jelek meghamisítása, vagyis a GPS spoofing technika tette lehetővé, hogy a repülőgép egy idegen területen szálljon le.

Egy másik világsajtót megjárt eset is bizonyította, hogy nem kell csúcstechnológiás katonai berendezés ehhez. 2013 júliusában a texasi Austin Egyetem tanára és hallgatói egy 80 millió dolláros yacht navigációs rendszerének spoofing technikával való meghamisításával térítették el egy kísérlet során a hajót és vezették más célponthoz. [17]

A módszer lényege az, hogy a megtámadott navigációs vevőkészülék helyén egy hamis jeladóból a valódi navigációs jelekkel mindenben megegyező struktúrájú jeleket sugároznak ki olyan teljesítménnyel, hogy azok a műholdakról származó valódi jeleket megfelelően elnyomják. A hamis jelekből meghatározható hely máshol van, mint a valóságos pillanatnyi helyzet, illetve az időt is megváltoztathatják. Terjedelmi okokból ennek a műszaki részleteivel és az ellene kidolgozott ún. anti-spoofing technikákkal egy későbbi cikkben foglalkozom.

ÖSSZEFOGLALÁS

A fenti, valóban csupán kiragadott példákból az elektronikai hadviselés egy vékony szeletébe kaphatott a Tisztelt Olvasó bepillantást. Ezeken kívül a navigációs rendszerek széles tárháza –



kezdve a rádió irányjel-adóktól a globális hiperbolikus navigációs rendszerekig – áll rendelkezésre, mind-mind sajátos elektronikai hadviselési megoldásokat követelve. Jelen írás azt mutatta be, hogy a leggyakrabban használt, legszélesebb körben ismert régi és új navigációs rendszerek milyen mértékben sérülékenyek, és ezek során mennyire sikerült az észrevétlen megtevését megvalósítani. A támadási módszerek tökéletesítésének fő célja az észrevétlen behatolás kell legyen a jövőben is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MAGYAR HONVÉDSÉG ÖSSZHADERŐNEMI ELEKTRONIKAI HADVISELÉS DOKTRÍNA. 2. kiadás. MH DOFT kód: MD 3.6 (2) A MAGYAR HONVÉDSÉG KIADVÁNYA 2014. p. 16.
- [2] DR. TAMÁSI FERENC: REH Rendszertechnika. Navigációs rendszerek. Zrínyi Miklós Katonai Akadémia Rádióelektronikai Tanszék, Budapest, 1978. pp.18-50.
- [3] PIOTR KANIEWSKI: INS/TACAN/ALT - an alternative solution for positioning. <http://mycoordinates.org/instacanalt-an-alternative-solution-for-positioning/all/1/> (2015. 03. 07.)
- [4] SZ.N.: TACAN - Tactical Air Navigation. <http://www.opticfox.com/2a4x2/tacan-fun.htm> (2015. 03. 07.) Magyarra átdolgozta a szerző.
- [5] SZ.N.: Tacan. http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/nav/tacan.htm (2015. 03. 07.)
- [6] SZ.N.: Electronics Technician Training and Reference Manuals. Tacan Equipment. http://electronicstechnician.tpub.com/14090/css/14090_35.htm (2015. 03. 07.) Átdolgozta a szerző.
- [7] WWW.AIRFORCE.RU <http://forums.airforce.ru/sovremennost/3950-reb-3/> (2015. 03. 07.)
- [8] RUSSIAN GPS JAMMER http://www.qsl.net/n9zia/wireless/gps_jam-pics.html (2015. 03. 07.)
- [9] SZ.N.: GPS JAMMER <http://www.flickr.com/favicon.ico> (2007. 12. 12.)
- [10] DR. CARLO KOPP: Air Defence System Defensive Aids. <http://www.ausairpower.net/APA-SAM-DefAids.html> (2015. 03. 07.)
- [11] CHINAJIAHO webáruház oldala. http://www.chinajiaho.com/adjustable-cell-phone-3g-and-gps-signal-jammer-with-four-bands-and-remote-control_p3410.html (2015. 03. 07.)
- [12] GAJT ANTI-JAM ANTENNA <http://www.novatel.com/products/gnss-antennas/gajt/#overview> (2015. 03. 07.)
- [13] GAJT BROCHURE http://www.amtechs.co.jp/2_gps/pdf/gajt-brochure.pdf (2015. 03. 07.)
- [14] DAVID ROWE, JOHN WEGER, JOEL WALKER: Integrated GPS Anti-Jam Systems <http://www.beidoudb.com:88/document/uploads/8bc7c219-713c-4cc0-8f38-a3f3df683082.pdf> (2015. 03. 07.)
- [15] GAJT - GPS-ANTI-JAM TECHNOLOGY <http://www.forsbergsservices.co.uk/products/antenna/gajt-gps-anti-jam-technology#noanchor> (2015. 03. 07.)
- [16] DR. HABIL. VÁNYA LÁSZLÓ: Kérdések és válaszok a szupertitkos RQ-170 iráni kézre kerüléséről. Repüléstudományi Közlemények XXVI. évfolyam 2013. 1. szám. pp. 634-641. HU ISSN 1789-770X http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/52_Vanya_Laszlo.pdf (2015. 03. 07.)
- [17] SZ.N.: UT Austin Researchers Successfully Spoof an \$80 million Yacht at Sea. <http://www.utexas.edu/news/2013/07/29/ut-austin-researchers-successfully-spoof-an-80-million-yacht-at-sea/> (2015. 03. 07.)

Kiss Leizer Géza Károly¹ – Pokorádi László²

HULLADÉKKEZELÉSI KÉRDÉSEK A LÉGI KÖZLEKEDÉSSEN³

Jelen tanulmány környezeti szempontból vizsgálja a légi közlekedéshez kapcsolódó hulladékok és azok kezelésének biztonságtechnikai kérdéseit. Tisztázásra és értelmezésre kerülnek a hulladékokhoz és a hulladékkezeléshez, valamint a repülőeseményekhez kötődő fontosabb fogalmak. A cikk rövid áttekintést ad a repülőtechnika normál üzemeltetése, valamint a repülőesemények bekövetkezése során keletkező hulladékok sajátosságairól. Végezetül a Szerzők megfogalmazzák további kutatásaik célját és irányvonalát.

QUESTIONS OF WASTE MANAGEMENT IN THE AIR TRANSPORT

This study examines the waste of air transport and its management has safety issues in environmental terms. Main definitions of waste, waste management and flying safety have been defined and interpreted. The article gives a brief overview of the normal operation of aviation engineering, as well as resulting in the occurrence of incidents waste characteristics. Finally, the authors articulate the purpose and direction their further research.

1. BEVEZETÉS

Napjaink egyik legfontosabb környezeti kérdése a különböző emberi tevékenységek során keletkező felesleges anyag, azaz a hulladék. Gyors változások érik az egész világot, mely a Föld javainak szinte korlátok nélküli használatából ered, ami nem a valós szükségletek kielégítését szolgálja, hanem a fogyasztói társadalom igényeit, melynek végső célja a befektetett tőke hozamának növelése. Ebből következően óriási hulladéktömegek keletkeznek, melyekre a megfelelő biztonságos kezelésének módja ma az egyik legsürgetőbb környezeti probléma.

Az egész Földre kiterjedő emberi tevékenységből származó, sok esetben veszélyes tulajdonságokkal is rendelkező hulladékok hatása gyakran kiszámíthatatlan. Bizonyos, hogy az élővilágra, a környezetre gyakorolt szennyezés, terhelés, már sok esetben visszafordíthatatlan folyamatokat indított el.

Tanulmányunkban a mai kor kihívásainak eleget tevő hosszú távú fenntarthatóság alapján vizsgáljuk meg a légi közlekedés folyamataihoz kapcsolódó hulladékkezelési, műszaki biztonságtechnikai kérdések.

Előzetes vizsgálataink során feltártuk, hogy a légi közlekedéshez, valamint a hozzá kapcsolódó veszély és katasztrófa helyzetekben keletkező hulladékok kezelésének biztonságtechnikai kérdéseire vonatkozó konkrét egyértelmű előírások nincsenek, vagy hiányosak.

Rámutatunk, hogy a felsorolt szakirodalmak és a röviden bemutatott esetek tanulmányozása, a hatályos hazai, nemzetközi jogi szabályozás és a légi közlekedési szakmai ajánlások ismereté-

¹PhD hallgató, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, kissleizer@t-online.hu

²egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu,

³ Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. ezredes, egyetemi tanár, drmi48@gmail.com

ben a hatékony megelőzésben, valamint a veszély és katasztrófa helyzetekben alkalmazott hulladékkezelési biztonságtechnika a mai kor kihívásainak megfelelő hulladékkezelést milyen módon segítheti.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A Bevezetés utáni a 2. fejezet a hulladékgazdálkodás, kezelés és hulladék fogalmait ismerteti. A 3. fejezetben bemutatjuk a légiközlekedés sajátosságait a hulladékkezelés szempontjából. Végezetül a Szerzők összegzik tanulmányukat.

2. A HULLADÉK, ÉS A HULLADÉKGAZDÁLKODÁS FOGALMA

A hulladék fogalmát a különböző irodalmak, szabályzók többféleképpen értelmezik. Például Bartus tanári kézikönyve szerint a hulladék a gazdaság anyagátalakító tevékenységeinek mellék- és végterméke; szilárd vagy szilárd hordozóba zárt folyékony halmazállapotú anyag, mely tulajdonosa számára értéktelen, ezért meg kíván szabadulni tőle [4].

A definíció három szempontot tartalmaz. Figyelembe veszi azt, hogy milyen folyamatban miként keletkezik a hulladék. Tartalmaz egy halmazállapot szerinti szűkítést, valamint alkalmaz egy közgazdasági kritériumot. Közgazdasági nézőpontból a hulladék fogalma bizonyos értelemben szubjektív, az adott anyagot birtokló személy vagy gazdasági szervezet döntésétől függ, hogy az elhasznált termék vagy melléktermék értékes-e vagy sem.

A 2012. évi CLXXXV. Törvény a hulladék fogalmát így írja le: „*A hulladék bármely anyag vagy tárgy, amelytől birtokosa megválnik, megválni szándékozik, vagy megválni köteles*”. Veszélyes hulladék pedig: „*A Hulladéktörvény 1. mellékletében meghatározott veszélyességi jellemzők legalább egyikével rendelkező hulladék.*” [2].

A veszélyes áruk közúti szállításával foglalkozó európai megállapodás viszont kimondja: „*A hulladék olyan anyag, oldat, keverék és tárgy, amelyet általában közvetlenül nem lehet felhasználni, de amelyet újrahasznosítási eljárás, lerakóhelyen való tárolással, égetéssel vagy más módon történő ártalmatlanítás céljából szállítanak*” [3].

A Környezet és Természetvédelmi Lexikon meghatározása szerint hulladék az az anyag, amely az ember termelő-fogyasztó tevékenysége folyamán keletkezik és amelyet az adott műszaki gazdasági és társadalmi feltételek mellett tulajdonosa sem felhasználni sem értékesíteni nem tud, illetve nem kíván és ezért kezeléséről – a környezetszennyezésének megelőzése érdekében – gondoskodni kell [10].

Tapasztalataink, és más szakértőkkel folytatott szakmai vitáink és egyeztetéseink alapján – a fenti hulladékokra vonatkozó definíciók helyett – az alábbi fogalom bevezetését ajánljuk:

A tulajdonosaik által hulladékoknak nyilvánított anyagok azok, melyeket különböző fizikai, kémiai, biológiai eljárásokkal vezetnek vissza a termelés és a fogyasztás szférájába, a visszavezetési technológiák kidolgozásáig komfortált, biztonságos lerakókban ideiglenesen tárolnak, vagy fizikai, kémiai és biológiai eljárásokkal alapelemeikre lebontanak.

E megfogalmazás a hulladék fogalmát és kezelésének jövőbeli lehetőségeit jóval precízebben írja körül. A Hulladéktörvénybeli definíció nem használja például azt a kitétel, amikor a hulladék birtokosa *megválni kényszerül*, pedig balesetek, katasztrófák, vagy a technikai eszköz

tönkrementele esetén ez a bekövetkező helyzet. Fontosnak tartjuk, és példaként említjük a repülőgép katasztrófák alkalmával a földnek ütközés után el nem égő, a talajt szennyező kerozint, különleges folyadékokat. Ekkor az elszennyezett talajt veszélyes hulladékként kell kezelni, és ártalmatlanítani.

A hulladékkal kapcsolatos definíciók alapján kimondhatjuk, hogy a hulladék jelen társadalmi-gazdasági viszonyaink között egy rosszul kezelt alapanyag, de a jövőben értékes alap és nyersanyag.

A már említett, a hulladékról szóló törvény határozza meg a hulladékgazdálkodás fogalmát: *„Hulladékgazdálkodás: a hulladék gyűjtése, szállítása, kezelése, az ilyen műveletek felügyelete, a kereskedőként, közvetítőként vagy közvetítő szervezetként végzett tevékenység, a hulladékgazdálkodási létesítmények és berendezések üzemeltetése, valamint a hulladékkezelő létesítmények utógondozása.”* [2].

A hulladékgazdálkodás alapelveit az alábbiak szerint lehet összefoglalni:

- az újrahasználat és az újra használatra előkészítés elve;

E műveleteket jogi, gazdasági és műszaki eszközökkel, valamint az anyag vagy tárgy beszerzésére vonatkozó kritériumokkal és számszerűsített célok kitűzésével segítik elő.

- a kiterjesztett gyártói felelősség elve;

A gyártó felelős a termék és a technológia jellemzőinek kedvező megválasztásáért. Ez az alapanyagok megválasztását, az ellenálló képesség, élettartam, újrahasználatosság, javíthatóság, a termékből képződő hulladék hasznosításának és ártalmatlanításának megtervezését, illetve a visszavitt termék visszaváltását, visszavételét jelenti.

- az önellátás elve;

A hulladékgazdálkodási létesítmények önálló hálózatának úgy kell működnie, hogy az figyelembe veszi a földrajzi adottságokat, a különleges hulladékgazdálkodási létesítmények szükségességét.

- a közelség elve;

Az elv jelentése a hulladék egyik legközelebbi, a célnak megfelelő hulladékgazdálkodási létesítményben és a leginkább alkalmas módszerek, technológiák segítségével történő hasznosítása, vagy ártalmatlanítása. Figyelembe veszi a környezeti adottságokat, a környezeti és gazdasági hatékonyságot, az elérhető legjobb technikát, a hulladék különleges kezelési igényét.

- a szennyező fizet elve;

A hulladéktermelő, a hulladékbirtokos vagy a hulladékká vált termék gyártója felelős a hulladék kezeléséért, a hulladékgazdálkodás költségeinek megfizetéséért.

- a biológiailag lebomló hulladék hasznosításának elve;

A biológiailag lebomló hulladék elkülönített gyűjtése és újrahasznosítása során a természetes szervesanyag-körforgásba minél nagyobb tisztaságú anyag kerül vissza. Ezáltal a hulladéklerekön lerakásra kerülő települési hulladék biológiailag lebomló szerves anyag tartalma csökken

- a költséghatékony hulladékgazdálkodási közszolgáltatás biztosításának elve;

A közszolgáltatási feladatok ellátása a legkisebb mértékben teszi szükségessé a hulladékgaz-

dálkodási közszolgáltatási díj és a hulladék ártalmatlanítása után fizetendő díj emelését, a hulladéklerakási járulék közszolgáltatóra vagy a lakosságra történő áthárítását.

- a keresztfinanszírozás tilalmának elve.

A hulladékgazdálkodási közszolgáltatás díja fedezetet nyújt a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás indokolt költségeire és ráfordításaira, valamint a közszolgáltató nyereségére.

A hulladékgazdálkodás fenti fogalmának és főbb alapelveinek jobb megértéséhez célszerű megismerni néhány hozzá kapcsolódó, a hulladékról szóló törvény által meghatározott fogalmat. Ezek a hulladékról szóló törvény megfogalmazása szerint [2]:

„Hulladékkezelés: hasznosítási vagy ártalmatlanítási műveletek, ideértve a hasznosítást vagy ártalmatlanítást megelőző előkészítést is.”

„Hulladékhasznosítás: bármely kezelési művelet, amelynek fő eredménye az, hogy a hulladék hasznos célt szolgál annak révén, hogy olyan más anyagok helyébe lép, amelyeket egyébként valamely konkrét funkció betöltésére használtak volna, vagy amelynek eredményeként a hulladékot oly módon készítik elő, hogy ezt a funkciót akár az üzemben, akár a szélesebb körű gazdaságban betölthesse; a hasznosítási műveletek nem kimerítő listáját a Hulladéktörvény 3. melléklete tartalmazza.”

„Hulladékártalmatlanítás: minden olyan kezelési művelet, amely nem hasznosítás; a művelet abban az esetben is ártalmatlanítás, ha az másodlagos jelleggel anyag- vagy energiakinyerést eredményez; az ártalmatlanítási műveletek nem kimerítő listáját a Hulladéktörvény 2. melléklete tartalmazza.”

3. A LÉGIKÖZLEKEDÉS SAJÁTOSSÁGAI A HULLADÉKKEZELÉS SZEMPONTJÁBÓL

A légi utas- és teherforgalommal járó hulladékkezelés alapvetően a repülőtérre koncentrálódik, ahol a hulladékok kezelése lényegében megoldott. Viszonylag kicsi annak a kockázata, hogy a hulladékok a környezetbe kerülnek, például elhagyott hulladék formájában. A hulladékok kezelése a kiszolgálás és reptér üzemeltetés esetében is környezetkímélő módon megoldható, ebben az esetben is jól lehatárolt módon keletkezik a környezeti hatás [5].

Az Európa Parlamenti képviselők a folyadékok repülőgépen történő szállításának megszigorításával kapcsolatban foglaltak állást. A képviselők bíralták a repülőgépek fedélzetén kézi poggyászban szállított folyadékok mennyiségét korlátozó intézkedéseket és azok végrehajtási szabályait. Az intézkedések károsak lehetnek az európai repülőtereken felhalmozódó parfüm, alkohol és kozmetikai termékek tömegeiért [7].

A korlátozások miatt ezeket a termékeket általában elkobozzák, a továbbiakban azokat hulladékként adják át különböző engedéllyel rendelkező ártalmatlanító cégeknek. Mindezen intézkedéseket a biztonság miatt kénytelenek megtenni, hiszen a terroristák által készített folyadékbombák még mindig rendkívül nagy veszélyt jelentenek a légiközlekedésre. A jövőbeli átvilágítási technológia fejlődésével remélhetőleg az ilyen jellegű bombák kiszűrhetők lesznek.



A légi közlekedés és szállítás során a gép fedélzetére felvitt, a repülőgép működéséhez szükséges anyagok a balesetek, katasztrófák során válhatnak hulladékká.

A repülés, légiközlekedés folyamatait vizsgálva megállapítható, hogy a hulladékokat két fő csoportba sorolhatjuk. Egyrészt a „normál” üzemeltetés, másrészt a repülőesemények során keletkező hulladékokra. Jelen fejezetben ezen két lehetőséghez kapcsolódó példákat mutatunk be.

3.1. A repüléstechnika üzemeltetése során keletkező hulladékok

A Magyar Légierőben minden repülés előtt ellenőrizni kell, hogy a felhasználandó tüzelőanyag megfelel-e a repülésbiztonsági előírásoknak. Amennyiben a repülési feladat végrehajtásához szükséges mennyiségnél több tüzelőanyag van a tartályokban, vagy valamilyen műszaki okból a tartályok kiürítése szükséges, az tüzelőanyagot leszívó kocsival lefejtik a repülőtechnikából, majd fém hordókban gyűjtik és veszélyes hulladékként ideiglenesen raktárban tárolják. Ezeket a tüzelőanyagokat a Magyar Honvédség központi tároló intézetének tüzelőanyag bázisához küldik tovább, ezután a bázis a MOL Rt.-nek adja át, ahol megfelelő tisztítás, szennyeződésmen-tesítés, kezelés után abból ismét tüzelőanyag lesz. A repülőgépbe való feltöltés és annak indítása előtt vett tüzelőanyag mintákkal is hasonló az eljárás.

A Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren végzett kutatásaink során az alábbiakról kaptunk információkat a légi úton szállított anyagok lehetséges köréről, melyek hulladékká válhatnak:

UN 2811 szerves, mérgező szilárd anyag, UN 2912 radioaktív anyag (izotóp), kontaktlencsék, motoralkatrészek, ajándéktárgyak, bükkfa, intimbetét, háziállatok, szinte minden, a hétköznapi életvitel során használt anyag.

A lítium akkumulátorok esetében, a nemzetközi légi szállítására vonatkozóan az alábbi új szabályokat állapították meg:

- valamennyi akkumulátornak meg kell felelnie az ún. UN38.3 teszt előírásainak;
- akkumulátorok előállítása kizárólag minőségi szempontból ellenőrzött gyártási folyamatban történhet;
- tilos légi úton szállítani a hulladék, újrahasznosításra váró vagy a gyártó által biztonsági szempontból hibásnak minősített akkumulátorokat
- olyan csomagolásról kell gondoskodni, ami kizárja a szállítás során bekövetkező rövid-zárlat lehetőségét;
- a szállítványozó kötelessége az áruhoz kapcsolódó kísérő dokumentumokhoz (UN38. 3 tesztjelentés, MSDS, Material Safety Data Sheet) hozzáférést biztosítani a légitársaság számára, ezért ezeket a dokumentumokat a szállítványozó rendelkezésére kell bocsátani;
- valamennyi jelentést angol nyelven kell kiállítani, kompetens harmadik fél laborban, érvényessége nem haladhatja meg az egy évet [12].

Az Ukrajnában kialakult helyzet miatt a Paksi Atomerőmű friss fűtőelemeit is légi úton szállították.

A veszélyes hulladékok országhatárokat átlépő szállításának ellenőrzéséről és ártalmatlanításáról szóló Bázeli Egyezmény írja elő, hogy az EU tagállamai működjenek együtt olyan információk terjesztésében, amelyek a veszélyes és az egyéb hulladékok biztonságos szállítását ismer-

tek, és amelyek célja e hulladékok környezetvédelmi szempontból megfelelő kezelési módjának fejlesztése, valamint a jogellenes szállítás megelőzése. De együttműködnek a veszélyes és az egyéb hulladékok környezetvédelmi szempontból biztonságos kezelési módszereinek fejlesztésének és bevezetésének érdekében is [1].

A veszélyes áruk légi szállításáról az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság részére bejelentést kell tenni, a veszélyes áruk légi szállításának ICAO Műszaki Utasítások szerinti bejelentő adatait minden esetben ki kell tölteni [9], [10]. Ez mindig megtörténik, azonban a légi szállító vállalatok nem alkalmaznak szakképzett, védőruhával-felszereléssel ellátott személyzetet és a hozzá tartozó megfelelő műszaki alkalmasságú szállító légi járműveket, a veszélyes árukra vonatkozó előírásokat figyelembe véve. A Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség (IATA – International Air Transport Association) Veszélyes Áruk Szabályzata tartalmazza azokat a rendelkezéseket, miszerint az utasok vagy a személyzet milyen veszélyes árut vihet fel a repülőgép fedélzetére [6].

Az tüzelőanyag felhasználás és az ezzel párhuzamos légszennyezés a korszerűbb hajtóművek fogyasztása és káros anyag kibocsátása drasztikusan csökkent az előző generációs típusokhoz képest. A növekvő légi forgalom a levegőszennyezés egyre magasabb százalékáért felelős, ezért az EU bíróságai támogatják a légitársaságok fel- és leszállásért fizetendő szénkibocsátási díj bevezetését. Figyelembe kell venni azonban, hogy a hulladékgazdálkodással kapcsolatos jogszabályok hatálya nem terjed ki a levegőbe kibocsátott légnemű anyagokra.

A repülőgépek vészhelyzet esetén, a fedélzeten lévő tüzelőanyagot kiporlasztva leeresztik. Erre megvannak a kijelölt területek, Magyarországon például az Alföld felett (Tápióvidék) van erre lehetőség. Akár 40 tonna kerozintól is megszabadulhat a repülőgép, amely ilyenkor az utazó magasságnál, 10 000 m-nél jóval alacsonyabban repül. A kiporlasztott kerozin azonban olyan mértékben felhígul a levegőben, hogy a földön már nem lehet kimutatni, de a levegőből „kihull” (fall out) és bekerül a talajba, az élővizekbe.

1 liter kerozin 1 millió liter vizet képes elszennyezni, 40 liter kerozin vízen kb. 1 km² felületen tud elterjedni, lezárva a légköri O₂ és napfény vízbe jutását, a halak kopoltyúját, így azok nem jutva oxigénhez, elpusztulnak.

Ugyanez a probléma a nagyteljesítményű repülőgép-hajtóművek jelentős mennyiségű égéstermékével is, főleg a repülőterek környékén, amik általában sűrűn lakott nagyvárosok. Fel és leszálláskor az elégetett tüzelőanyag mennyisége a legnagyobb, tehát a szennyezés jelentősebb, mint a repülőút során.

A repülőtereken nincsenek biztonsági intézkedések az tüzelőanyaggal kapcsolatba kerülő szakemberek számára. Pedig a repülőgépek töltésénél, a hajtóműveken, vagy tüzelőanyag- rendszeren végzett szerelési munkáknál mindig kifolyik bizonyos mennyiség.

3.2. Veszély és katasztrófa helyzetekben keletkező hulladékok és azok kezelésének biztonságtechnikai kérdései

Hulladékok keletkezhetnek a katasztrófák során a repülőtechnika elvesztésekor, vagy olyan mérvű sérülésekor, hogy azt csak hulladékfrakciókként lehet hasznosítani. Ezért fontos jövőbeni feladatunknak tekintjük a repülőtechnikák esetében alkalmazott főleg szerkezeti anyagok ilyen szempontú elemzését.

A kérdéskörhöz kapcsolódó fogalomrendszert a Repülési Lexikon alapján mutatjuk be [14]:

„Repülő események: A repülő szerkezet rendeltetésszerű, légi felhasználása során keletkező és a repülő szerkezet részleges, vagy teljes roncsolódásához, illetve a repülő állomány egy, vagy több tagja sérüléséhez vagy halálához vezető események.”

„Baleset: A repülő állomány egy vagy több tagja könnyebben, vagy súlyosabban megsérül, de életét nem veszti el, a repülő szerkezet olyan mértékben roncsolódik, hogy a helyszínen nem javítható.”

„Katasztrófa: A repülő állomány egy vagy több tagja életét veszti. Ide tartoznak azok az esetek is, amikor a halál a repülő esemény során bekövetkezett sérülés miatt az azt követő 10 napon belül következik be. Ugyanakkor nem katasztrófa, például ha a halál kényszerleszállás után, megfagyás miatt áll be.”

„Légi katasztrófa: A repülő balesetek csoportjába tartozó legsúlyosabb esemény, amikor a helyszínen, vagy a későbbiekben egy, vagy több személy életét veszítette, vagy a légi jármű a fedélzetén tartózkodó személyekkel együtt eltűnt és a felkutatást eredménytelensége miatt megszüntették.”

Légi katasztrófának tekintik még a légi eszköz elvesztésével járó egyébként emberi életet nem követelő eseményt is. Az összes légi katasztrófa 50–55%-a a leszállás földet érés időszakában következik be. A repülőgépek típusától függően 10–100 millió repült órára jut egy légi katasztrófa. Ezt az eseményben érintett utasok 70–75% éli túl, ami a 70-es évek elejéhez képest mintegy háromszoros érték.

A Magyar katonai repülésben több légi katasztrófa is történt, ezek közül mutatunk be két példát, röviden, a nyilvános sajtóban leírtak alapján.



1. ábra A 2005-ös repülőnapra történő felkészülés közben lezuhant MiG-29B repülőgép roncsa⁴

2005. május 11-én, helyi idő szerint 16:32-kor zuhant le a Magyar Légierő 02-es oldalszámú MiG-29B típusú vadászgépe. A kecskeméti repülőnapra gyakorló gép jobboldali hajtóműve

⁴ forrás: [13]

kigyulladt, majd leállt, a földről figyelmeztették a pilótát, aki gyorsan felmérte a helyzetet, kivezette az égő Fulcrumot a reptér fölé, ezt követően sikeres gépelhagyást hajtott végre. A MiG-29-es a reptér mellett erdős-ligetes szántóföldi területen fűródött a földre [13].

2008. április 17-én, helyi idő szerint 15:52-kor súlyos balesetet szenvedett a Magyar Légierő egyik MiG-29 Fulcrum típusú vadászrepülőgépe alacsony áthúzás közben Kecskeméten. A 15-ös oldalszámú repülőgép gép gyakorlórepülés közben emelkedés helyett megsüllyedt és a betonhoz csapódott. Miután a pilóta katapultált a gép átszakította a kerítést és a 44-es utat súrolva ért földet [11].



2. ábra A kecskeméti katonai repülőtér felett való áthúzáskor lezuhant MiG-29 repülőgép roncsa⁵

A képek és az események leírásai alapján viszonylag kevés nehezen elszállítható hulladék képződésére lehet számítani, hiszen a becsapódáskor az tüzelőanyag, a szintetikus kenőanyag, a fém és műanyag alkatrészek nagy része elég. Az ilyen és hasonló eseményekkor keletkező talajszennyezést okozó és megmaradó hulladékok ártalmatlanításáról, a mentesítésről, a környezet szennyezésének megszüntetéséről, a terület rehabilitálásáról (tájba illesztéséről) minden esetben gondoskodni kell.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban röviden rámutattunk a hulladékkezelés alapfogalmaira és a légiközlekedéshez kötődő aktuális problémáira. A repülőtechnika üzemeltetése során biztonságra kell törekedni a keletkező hulladékok tekintetében is, hiszen a légiközlekedés fenntarthatóságához nélkülözhetetlen a hozzá tartozó rendszerek biztonságos működése, a krízishelyzetek és katasztrófák megelőzése. A légi katasztrófák kezelésekor részben garancia az, hogy a mentésben és mentesítésben résztvevőknek mindenkori elsőbbsége van a gazdaságossági, valamint a környezettel összefüggő döntésekkel szemben. De ezek megelőzésének alapja, hogy a repülő-eseményeket kiváltó tényezőkből eredeztethető adatgyűjtés, feldolgozás, következtetések levonása tudományos alapossággal történjen meg.

⁵ forrás: [11]

További kutatómunkánk célja a fentiekben felvázolt repüléstudományi, szerkezet-tani és hulladékkezelési kérdések részletes elemzése.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 101/1996. (VII. 12.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékok országhatárokat átlépő szállításának ellenőrzéséről és ártalmatlanításáról szóló, Bazelben, 1989. március 22. napján aláírt Egyezmény kihirdetéséről
- [2] 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról
- [3] A veszélyes áruk nemzetközi közúti szállításáról szóló európai megállapodás (ADR)
http://doc.hjegy.mhk.hu/20092M20000038_3.PDF (2015. 03. 04.)
- [4] BARTUS GÁBOR A hulladékgazdálkodás alapjai, Tanári kézikönyv Nemzeti Szakképzési Intézet Budapest, 2006.
- [5] BERA JÓZSEF Környezetvédelmi döntéshozatalok elemzése, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2012 Konferencia. pp. 405- 414.
- [6] Dangerous Goods Regulations IATA (Veszélyes Áruk Szabályzata)
http://www.backcountryaccess.com/wp-content/uploads/2013/02/IATA_2013_EN.pdf (2015. 03. 03.)
- [7] Hétfői plenáris: hulladék és légi biztonság
[http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+IM-PRESS+20070209STO02962+0+DOC+PDF+V0//HU&language=HU_\(2015. 03. 03.\)](http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+IM-PRESS+20070209STO02962+0+DOC+PDF+V0//HU&language=HU_(2015. 03. 03.))
- [8] ICAO Műszaki Utasítások: a Nemzetközi Polgári Repülésről szóló Chicagói Egyezmény (Chicago. 1944) 18. Függelékét kiegészítő, a Veszélyes Áruk Légi Szállításának Biztonságát Szolgáló Műszaki Utasítások, amelyet a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO, Montreal) ad ki (Magyarországon kihirdette a 2009. évi LXXXVIII. törvény)
- [9] ICAO: International Civil Aviation Organization (Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet), (ICAO, 999 University Street, Montreal, Quebec H3C 5H7, Canada);
- [10] Környezet és természetvédelmi Lexikon I-II, Akadémiai Kiadó 2002
- [11] Lezuhant egy magyar MiG-29-es http://www.jetfly.hu/rovatok/jetfly/hirek/mig29_baleset/ (2015.03.07)
- [12] Megváltoztak a lítium akkumulátorok szállítására vonatkozó előírások
http://www.kkvszallitas.hu/hirek/Megvaltoztak_a_litium_akkumulatorok_szallitasara_vonatkozo_eloirasok (2015.03.06)
- [13] Nyolc éve zuhant le a 02-es oldalszámú magyar MiG-29-es http://www.jetfly.hu/rovatok/jetfly/hirek/het_eve_zuhant_le_a_02-es_oldalszamu_magyar_mig-29-es/
- [14] Repülési Lexikon, Akadémiai Kiadó Bp. 1991 ISBN 963 05 6207 3 I kötet 623. o. II kötet 603. o.

Márton Andrea¹

AZ ÉSZAKI-SARK OROSZORSZÁG STRATÉGIAI GONDOLKODÁSÁBAN²

Az Északi-sark régiójának felértékelődése részben a globális felmelegedés okozta éghajlatváltozásnak, részben az ennek hatására felfedezett ásványkincsek kiaknázási lehetőségeinek köszönhetőek. A térség helyzetét bonyolítja, hogy nemcsak a régióban található államok szövetségi és bilaterális kapcsolatai befolyásolják a régió geopolitikai helyzetét, hanem az Egyesült Nemzetek Szervezetének egyezményei és határozatai, valamint az Európai Unió politikája, és a feltörekvő országok –gondolok itt elsősorban Kínára- politikái is. Jelenleg folytatva megkezdett kutatásaimat ebben a témában, új szemszögből szeretném bemutatni Oroszország hozzáállását a kérdéshez.

THE ARCTIC IN THE STRATEGIAN THINKING OF THE RUSSIA

The Arctic region become more interesting area recently because on the one hand climate changes caused by the global warming and the other hand discovered mineral resources first of all carbohydrates. The geopolitical situation of the area is complicated not only by the bilateral and allied relationship of countries in the region but by the UN's resolutions and conventions and policy of the EU and the policy of the emerging countries first of all China. I want to continue my research concerning this topic from point of view of the new perspective of the Russian Federation.

Az Északi-sark régió a XX. század végén geopolitikailag feledésbe merült, majd a XXI. század első évtizedeiben felfedezett ásványi kincseknek és a globális felmelegedés okozta klímaváltozásnak köszönhetően geopolitikai és geostratégiai szempontból is az érdeklődés előterébe került. Az olvadó jégsapka, a megnyíló hajózási útvonalak, valamint az arktiszi kontinentális talajban található szénhidrogének és egyéb ásványi kincsek új fejezetet nyitottak a régió történetében.

Az arktiszi biztonság szempontjából a gazdasági, jogi és politikai és védelmi szempontokat kell elsősorban figyelembe venni. Az Északi-sark régióban kiemelt figyelmet kell fordítani az Orosz Föderációra, mivel az ország a legjelentősebb arktiszi szereplő. Ez több okra is visszavezethető: az egyik, hogy az ország nagy ambíciókkal és jelentős fejlődési potenciállal rendelkezik. A másik ok, amiért figyelniük kell rá, az, hogy stratégiai gondolkodásában a régió központi szerepet játszik és jelenleg is meghatározza az ország védelempolitikáját.

Az éghajlatváltozás hatásai a régióban gyorsabb ütemben és súlyosabb formában jelennek meg, mint bárhol a világon. Ezek a hatások jelentősen átrajzolják a régió geopolitikai képét. Mivel a jégtakaró visszahúzódik új lehetőségek és új biztonsági kihívások és fenyegetések jelennek meg.³

¹ Hadtudomány PhD fokozatos, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, andrimarton@gmail.com

² Lektorálta: Padányi József, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu

³ Padányi József: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására. Budapest: Stratégiai és Védelmi Kutatóintézet, 2010. p. 15. (Védelmi tanulmányok, ISSN 1216-4704; 63.)

Azonban a korábban elhangzott jóslatokról – példátlan kereskedelmi forgalomról és az új hajózási útvonalak megnyílásáról – kiderült, hogy túlzottan optimisták. Hasonlóan a régióban lezajló katonai konfliktusról szóló jóslatokhoz, melyeket általában „minden ingyen van” jelzővel látnak el. A régió iránti fokozott érdeklődés vezetett inkább az intenzív politikai folyamatokhoz a sarkvidéki államok között. Ezeknek a politikai folyamatoknak köszönhetően a régió egyre inkább az érdeklődés előterére került. Oroszország az Északi-sark régió legnagyobb parti állama. Az ország Északi-sark stratégiája⁴ 2009-ben jelent meg, melynek összefoglaló mondata: „*Oroszország vezető hatalmi szerepének megőrzése az Északi-sark régióban*”.⁵ Az előbbi összefoglaló mondat, vajon tényleg lefedi azokat a politikai célokat, melyeket az Orosz Föderáció Arktisszal kapcsolatos politikáját jellemzik és jellemezni fogják 2020-ig?

Az Orosz Föderáció Biztonsági Tanácsa által jóváhagyott dokumentum kiemeli a fő célokat, melyeket csak általánosan fogalmaz meg úgy, mint a társadalmi-gazdasági fejlesztés, a katonai biztonság, a környezeti biztonság, a tudomány- és technológiafejlesztés. A dokumentumban célként jelenik meg a térség békéjének és biztonságának megőrzése, valamint a nemzetközi együttműködés létrehozásának igénye. Az orosz kül- és biztonságpolitikáról írt tanulmánykötetben jelent meg Zysk írása⁶: melyben úgy fogalmaz, hogy az Arktiszon létrehozásra kerülő katonai erő az Artic Specnaz (különleges műveleti erő) célja, hogy megvédje az orosz nemzeti érdekeket az Északi-sark régióban. A tanulmány azonban rámutat arra is, hogy Oroszország célja a nagyhatalmi státusz elérése és ennek egyik fontos eleme a haditengerészeti erők fejlesztése és modernizálása. Itt említeném meg, hogy Oroszország katonai doktrínájában kiemelt szerepet kapott a haditengerészet fejlesztése és az Északi Flotta alárendeltségébe tartozó nukleáris tengeralattjáró flotta modernizálása és fejlesztése. Természetesen az Északi-sark régió az orosz kül- és biztonságpolitika szempontjából nemcsak az áhított nagyhatalmi státusz megszerzése miatt fontos. Oroszország a hidegháború évei alatt hatalmas tengeri területeket ellenőrzött az éghajlatváltozás hatására bekövetkező változások azonban az ország számára új potenciális gazdasági lehetőségeket is kínálnak. Az Északi-sarkról szóló orosz stratégia kiemelt pontja a gazdasági lehetőségek kiaknázása. A stratégiai dokumentum kimondja a régióban építeni és fejleszteni kell a mind a hajózással kapcsolatos, mind pedig az olaj- és gáziparral kapcsolatos infrastruktúrát.

A hajózással kapcsolatos infrastruktúra fejlesztése azért is szükséges, mert az Észak-keleti Átjáró hajózásához jelenleg speciális merülésű hajókra van szükség a Kara- és a Laptev-tengereken található kis mélységű szorosok miatt, és az őszi-téli időszakban jégtörő hajók nélkül a szakasz nem hajózható. A fejlesztés további célja, hogy a korábban kizárólag belvízi hajózásra használt kikötői infrastruktúrát alkalmassá kell tenni a kereskedelmi célú hajózás kiszolgálására is. Az IPCC jelentése⁷ szerint az elkövetkező évtizedekben elolvadhat a jégtakaró az Arktiszon, amely így megnyit egy újabb hajózási útvonalat az Északi-óceánon ez pedig az Északi Transzit

⁴ Orosz Föderáció Arktisz stratégiája: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html> letöltési idő: 2012-05-23 15:43

⁵ Lassi Heininen: High North in world politics and changing geopolitics of north

http://www.petrus.ru/Faculties/Politicalology/ISSK'10/Heininen_High_North.ppt letöltési idő: 2012-05-23 16:02

⁶ Katarina B Zysk: Russian military power and the Arctic The EU-Russia Centre Review Issue Eight Russian Foreign Policy 80-86.p. http://www.eu-russiacentre.org/wp-content/uploads/2008/10/review_viii_final_13_10.pdf letöltési idő: 2013-02-14 10:46

⁷ IPCC jelentés: Climate Change 2007: Synthesis Report, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf letöltési idő: 2011-10-09 10:45

útvonal, amelynek egy része szintén érinti az orosz vizeket. A kereskedelmi hajózás fejlődése, amely lerövidíti az útvonalakat az Atlanti-és a Csendes-óceán között a jövőben számos kérdést vet fel, melyre az orosz Északi-sark stratégiából nem kapunk egyértelmű választ, azonban az orosz kül- és biztonságpolitika vezetőinek hivatalos beszédeiből képet alkothatunk az orosz álláspontról.

Oroszország Északi-sark stratégiájában ugyan a Svalbard-szigetekkel kapcsolatos álláspont nem jelenik meg, ugyanakkor Genyadij Olenyik az Orosz Szövetségi Államtanács elnökének véleménye⁸ jól jellemzi a szigetcsoporttal kapcsolatos orosz álláspontot: szükséges és fontos biztosítani az orosz jelenlétet ebben a régióban. Az orosz politikai és katonai körök úgy gondolják, hogy a Norvégia által képviselt álláspont a szigetcsoporttal kapcsolatban tisztességtelen és jogi szempontból kétes, célja pedig Oroszország távoltartása a szigetektől és a vele szomszédos vizektől. Mint, ahogy már azt írtam⁹ Oroszország a Norvégia által létrehozott védett halászati övezetet a szigetcsoport körül nem ismeri el. Az elkövetkező években választ kell adnia az orosz politikának arra a kérdésre, hogy a változó geo-politikai helyzetben milyen kapcsolatot alakít ki a NATO-tagállam Norvégiával. Itt kell megjegyezni, hogy az orosz Északi-sark stratégia egyik kiemelt pontja az orosz határok biztosítása a régióban. A határkérdések rendezését bonyolítja, hogy az Északi-sark régióban vagy megállapított határok vannak, vagy részben az ENSZ tengerjogi Konvenciója szabályozza, vagy bilaterális megállapodások adják a parti országok közötti tengeri határokat. A geo-stratégiai helyzet változásával azonban a főként a halászati és a hajózási lehetőségek változásával újra és újra felmerülnek a megállapított határszakaszokon is a viták. Oroszország számára a tengeri határainak biztosítása alapvető stratégiai érdeke, hiszen a régióban levő gazdasági lehetőségeit csak így tudja az elkövetkező években, évtizedekben kiaknázni.

Oroszország Északi-sark régióban levő tengeri határai közül kettőt fogok bemutatni, az Amerikai Egyesült Államokkal, illetve a Norvégiával közös határszakaszokat. Választásom azért is esett erre a két határszakaszra, mert itt a gazdasági kérdések is befolyásolják a megoldási lehetőségeket.

Először bemutatom az Amerikai Egyesült Államokkal közös határszakaszt. Az Amerikai Egyesült Államok 1867-ben¹⁰ vásárolta meg Alaszka területét Oroszországtól. A vásárlással együtt a megállapodás meghatározta a két ország közötti tengeri határt is. A hidegháború időszaka alatt a határszakaszt folyamatosan ellenőrizte mindkét ország haditengerészete. Amikor mindkét ország aláírta az ENSZ Tengerjogi Konvencióját, melyet az Amerikai Egyesült Államok nem ratifikált, viszont Oroszország igen az 1867-ben megkötött megállapodást a kizárólagos gazdasági övezetek létrejötte miatt módosítani kellett. Az 1990-ben az akkori külügyminiszterek módosították a megállapodást a tengeri határokról, azonban a Szovjetunió összeomlása után a létrejövő Oroszország nem ratifikálta a megállapodást, azzal az indokkal, hogy számára az

⁸ G. D. Oleinik, Prisztstvie Rossiiskoi Federatsii na arhipelage Shpitsbergen: politiko-pravovye, ekonomicheskie i gumanitarnye aspekty, The Council of the Federation Committee on Northern Territories and Indigenous Minorities Issues, www.severcom.ru letöltési idő: 2009-06-13 10:57

⁹ Russia in the Arctic Hadtudományi Szemle on-line 2012/3-4 szám 166-175. oldal

http://hadtudomanyiszemle.zmne.hu/files/2012/2012_2/2012_2_rv_marton_andrea_166_175.pdf letöltési idő: 2014-04-15 14:22

¹⁰ Treaty with Russia [http://memory.loc.gov/cgi-](http://memory.loc.gov/cgi-bin/ampage?collId=llsl&fileName=015/llsl015.db&recNum=572)

[bin/ampage?collId=llsl&fileName=015/llsl015.db&recNum=572](http://memory.loc.gov/cgi-bin/ampage?collId=llsl&fileName=015/llsl015.db&recNum=572) letöltési idő: 2014-03-15 15:51

hátrányos helyzetet teremt. Oroszország szeretné felülvizsgálni a szerződést azzal az indokkal, hogy halászhajói hozzáférést kapjanak a határon átívelő halászati kvóták felhasználására. Az Amerikai Egyesült Államok elutasította az orosz kérelmet. Bár a nemzetközi jog az Amerikai Egyesült Államoknak ad igazat, a Bering-tengeren folyamatos konfliktust okoz a két ország között. Vajon csak a gazdasági érdekek motiválják az orosz politikai köröket? A válasz ebben az esetben nem ilyen egyszerű, mert nemcsak az éghajlatváltozás okozta változások és a halászati kvóták adják a motivációt, hanem az 1867-ben megkötött szerződés hiányosságai is. A szerződés hiányosságát az adja, hogy Oroszország és az Amerikai Egyesült Államok már mértani vetületet használnak a határvonalak rögzítéséhez, így viszont a két állam tengeri határán marad egy 15 000 km²-es terület melynek hovatartozása vitatott. A két ország megállapodott abban, hogy az 1867-es szerződés rendelkezéseit tiszteletben tartják, azonban az 1980-as években tárgyalásokat kezdtek a határvonal rendezéséről. Az 1990-ben megkötött megállapodás az egyenlő távolság elve alapján rögzíti a határvonalat a két ország között. Az így létrejött tengeri határvonal hátrányosan érinti Oroszországot a tengeri erőforrások használata szempontjából, így az ország soha nem ratifikálta a megállapodást. Orosz vélemény szerint a megállapodás azért is hátrányos az ország számára, mert lemondott a jogos halászati területekről, valamint számos a Csukcs- és a Bering-tengeren levő földgáz és potenciális kőolajmezőről, valamint a tengeralattjárók által használt tengeri kijáratról. Orosz szempontból a megállapodás sorsa továbbra is bizonytalan, azonban a nemzetközi szokásjog alapján lehet a jelenlegi helyzetben meghatározni a két ország tengeri határát. Ugyanakkor az orosz halászflootta megjelenése az amerikai kizárólagos gazdasági övezetben vitákat és konfliktusokat generál a két ország között. A fennálló problémákat kezelni azonban csak tárgyalásos úton lehet, vagy akkor, ha az 1990-ben megkötött megállapodást Oroszország ratifikálja.

A következő határszakasz, amelyet bemutatok a Norvégiával közös részben megállapított, részben tárgyalásos úton létrehozott határszakasz.

Oroszország és Norvégia között nincsenek egyértelműen meghatározott tengeri határok. A két ország 1957-ben először a Varanger fjordot osztotta fel egymás között.¹¹ A felosztásnál már kiderült a két ország közötti véleménykülönbség, míg Oroszország a szektor elv alapján, addig Norvégia az egyenlő távolság elve alapján akarta a határokat meghatározni. A felosztásból adódó nézetkülönbségek miatt, azonban keletkezett egy 176.000km²-es terület, melynek hovatartozása vitatott volt, és amelyről 1978-ban a két ország Szürke Zóna¹² néven kötött megállapodást. A megállapodás 2010-ben lejárt. A két országnak sikerült ugyan konszenzusos megállapodást találni a határkérdésre. 2010-ben aláírták a két ország közötti megállapodást a határszakaszcól.¹³

Oroszország még egy területet kiemelten fontosnak tart, ez pedig a Lomonoszov- és Mengyelejev-hátság. Az ország már 2001-ben az ENSZ Kontinentális Talapzat Bizottságához fordult, hogy igényt tart a területekre, mert az az Eurázsiai kontinentális talapzatához tartozik. Az ENSZ

¹¹ „Continental boundary Norway-Soviet Union” International Boundary Study Series A Limits of the Sea <http://www.state.gov/documents/organization/61609.pdf> letöltési idő: 2014-03-14 17:20

¹² The grey zone agreement of 1978 <http://www.fni.no/doc&pdf/FNI-R1309.pdf> letöltési idő: 2014-12-20 17:39

¹³ Norway, Russia Agree on Arctic Border Compromise http://www.rigzone.com/news/article.asp?a_id=91662 letöltési idő: 2014-02-25 17:30

felszólította Oroszországot, hogy nyújtson be tudományos bizonyítékokat a terület hovatarozásáról.



1. ábra A megállapított határvonal az Orosz - Norvég határon¹⁴

Az orosz Északi-sark stratégia nemcsak a hajozást vagy Svalbard-szigetek helyzetét kezeli prioritásként, a különböző élő és élettelen tengeri erőforrásokkal kapcsolatos kérdéseket is. Oroszország és Norvégia az elmúlt évtizedekben számos megállapodást kötött a halászati kérdések megoldására. A két ország közötti halászati együttműködés általában jól működik, a közös halászati bizottság állapítja meg a halászati kvótákat. Az 1990-es évek óta vannak nézetkülönbségek a két ország között, mert Norvégia állítja, hogy a területet Oroszország túlhalássza.

A hidegháború időszaka alatt a Barents-tenger déli régiója, a norvég szárazföld a Svalbard-szigetek, valamint Novaja Zemlja és a Ferenc József-föld közötti tengeri terület biztosította Észak-Norvégia és az orosz Arhangelszk régió településeinek a tengeri erőforrásokat. Ebben az időszakban orosz részről politikai és ideológiai okok csak másodlagos jelentőséggel rendelkeztek a terület, mert az elsődleges halászati medencének az orosz távol-keleti medencét tekintették.¹⁵ A Barents-tengeren a legfontosabb kereskedelmi halállomány az észak-keleti arktiszi tőkehal, melynek halászatáról és a halászati jogokról az ENSZ Tengerjogi Konvenciójának életbelépése után az Észak-Kelet-Atlanti Halászati Bizottság égisze alatt folytatták le a partmenti államok a kétoldalú tárgyalásokat. A Szovjetunió felbomlása után a megállapodások jelentős részét az ellenőrzés részbeni hiánya miatt nem tartották be, 1993-ban kialakított szabályozási és ellenőrzési mechanizmus vezetett oda, hogy a két ország a nézeteltérések ellenére képes együttműködni jelenleg a Barents-tengeri halászatot érintő kérdésekben.¹⁶ Az ezredfordulón azonban újabb konfliktusforrás keletkezett, nevezetesen részben az éghajlatváltozás részben pedig élettani okokra visszavezethetően csökkenni kezdett a tőkehalállomány. Tengerbiológusok és tengerkutatók ajánlották, hogy a két ország drasztikusan csökkentse az állományra kivethető

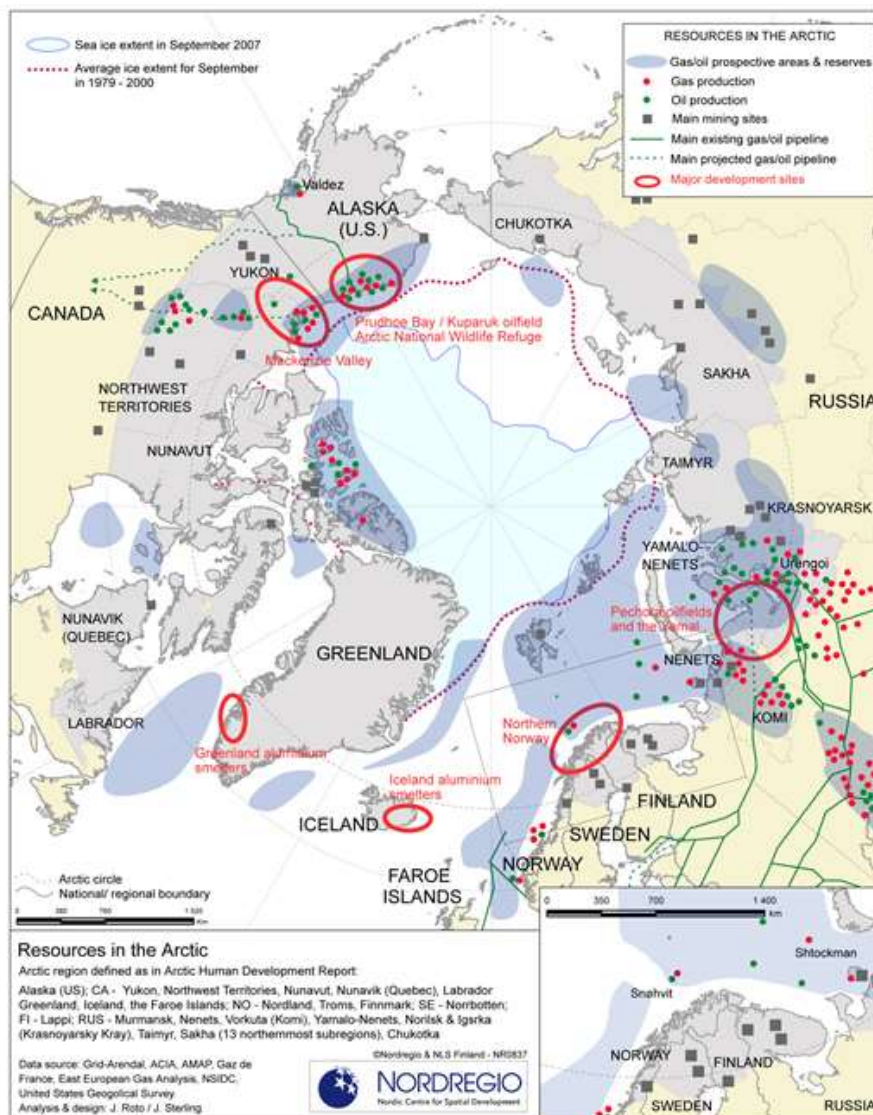
¹⁴ Forrás: http://www.menasborders.com/menasborders/border_focus/arctic.aspx letöltési idő: 2013-04-12 17:36

¹⁵ Geri Hønnerland: Norway and Russia in the Barents Sea – Cooperation and Conflict in Fisheries Management <http://www.css.ethz.ch/publications/pdfs/RAD-20-9-11.pdf> letöltési idő: 2014-11-15 20:50

¹⁶ Geri Hønnerland and Anne.kristin Jørgensen: Implementing international agreements in Russia: Fisheries management, nuclear safety and air pollution control <http://www.fni.no/doc&pdf/GEH-ANK-GEP-2003-1.pdf> letöltési idő: 2014-10-02 20:57

halászati kvótákat.¹⁷ Bár Norvégia is elvben támogatta a kvóta csökkentést a norvég halászati ipar teljesen eltérő véleményen volt. Így a halászati csata egyben politikai csatározássá is fajult Oroszország és a NATO-tagállam Norvégia között.

Oroszország Északi-sark stratégiájának, valamint kül- és biztonságpolitikai dokumentumainak kiemelt prioritásai az energetikai iparral kapcsolatos fejlesztések, illetve az ezzel kapcsolatos védelmi célú beruházások előmozdítása. Az ország Északi-sark stratégiája kiemelt kérdésként kezeli az energetika politikát. A globális felmelegedés okozta éghajlatváltozás hatásainak egyik potenciális gazdasági lehetősége az arktiszi régióban levő feltáratlan szénhidrogén készlet felszínre hozása. Az amerikai Geological Survey által készített vizsgálatok azt mutatták, hogy az Arktisz rendelkezik a Föld legnagyobb kiaknázatlan kőolaj és földgázkészletével. Oroszország számára ez azért is fontos, mert ezeknek a szénhidrogén készleteknek a legnagyobb része az orosz Arktiszon található. A jelenleg ismert lelőhelyek az orosz Arktiszon részben kontinensen, részben pedig a territoriális vizeken találhatóak, mintegy 500 m-rel a tengerszint alatt.



¹⁷ Geri Hønnerland: Norway and Russia in the Barents Sea – Cooperation and Conflict in Fisheries Management <http://www.css.ethz.ch/publications/pdfs/RAD-20-9-11.pdf> letöltési idő: 2014-11-15 20:50

Éppen ezért az orosz Északi-stratégia középpontjában a Barents-tengeren és az Északi-sark más részein levő energiaforrások birtoklása a stratégia középpontjában áll. Vlagyimir Putyin kormányfőként elmondott beszédében kijelentette, hogy az energiaforrások birtoklása orosz nemzeti érdek, ugyanakkor a katonai erő alkalmazását nem lehet kizárni, amennyiben megindul a verseny a régióban található energiaforrásokért. Továbbá, – mondta a miniszterelnök – a stratégia e pontja lehetőséget biztosít a helyi lakosság és az őshonos népcsoportok életkörülményeinek javítására, valamint ösztönzőleg hat a beruházásokra is.¹⁹ Bár az orosz külpolitika számára is a földgáz és kőolaj export prioritást jelent, mégis az arktiszi fel nem tárt lelőhelyekkel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy bár az északi régió klimatikus viszonyai között rendelkezésre áll a technológia a lelőhelyeken próbaforrásokat nem végeztek, így a feltárható mennyiségek csak becsléseken alapulnak.

Az éghajlatváltozás hatására bekövetkező változások olcsóbbá tehetik az Északi-sark régióban a tengeri kőolaj és földgázmezők kitermelését, addig a szárazföldi infrastruktúrákban a permafroszt olvadása jelentős károkat okozhat. Putyin beszédében utalt rá, hogy az energetikai beruházások kivitelezésénél figyelembe veszik a legszigorúbb környezetvédelmi előírásokat.²⁰ A környezeti tényezők és a környezet biztonság említése új elemként jelenik meg a dokumentumban.

Az Arktisz az orosz katonai gondolkodásban

Az Arktisz egy nagyon különleges helyet foglal el az orosz védelmi stratégiában. Mivel már az 1950-es évektől jelentős gazdasági potenciállal rendelkező iparágak és infrastruktúrák települtek a térségbe. Továbbá ezen a területen települ az északi flotta, melynek része az orosz nukleáris elrettentő erő.

A térség geopolitikai és geo-stratégiai felértékelődése után 2004-ben egy új tengeri doktrínát fogadott el az ország. A tengeri doktrína megállapítja, hogy a harmadik évezredben a civilizáció fejlődésének legfontosabb iránya a világ vízterületének és erőforrásainak a meghódítása lesz, amelyet a vezető tengeri hatalmak önállóan, vagy együttműködve, illetve egymással versengve folytatnak majd. Oroszország területi és geofizikai jellegzetességeit, valamint az átfogó és regionális nemzetközi kapcsolatokban betöltött helyét és szerepét figyelembe véve vezető tengeri nagyhatalomnak számít. Továbbá, hogy Oroszország számára a tengeri szállítás kiemelt szerepet tölt be, különösen olyan régiókban, ahol a tengeri hajózás az egyetlen (alternatíva nélküli) közlekedési ágazat, valamint a külkereskedelmi tevékenység egyetlen lehetséges módja. A távol-keleti és a legészakibb területek életfenntartásához továbbra is elengedhetetlenül szükséges a tengeri szállítás. Ennek biztosítása érdekében növelni kell az oroszországi hajózási társaságok

¹⁸ Forrás: <http://www.nordregio.se/en/Maps--Graphs/05-Environment-and-energy/Resources-in-the-Arctic/> letöltési idő: 2015-02-22 23:46

¹⁹ RIA Novoszty: Prime Minister Vladimir Putin speaks at the international forum The Arctic: Territory of Dialogue <http://www.arctic.ru/news/2010/09/prime-minister-vladimir-putin-speaks-international-forum-arctic-territory-dialogue> letöltési idő: 2014-10-20 21:33

²⁰ RIA Novoszty: Prime Minister Vladimir Putin speaks at the international forum The Arctic: Territory of Dialogue <http://www.arctic.ru/news/2010/09/prime-minister-vladimir-putin-speaks-international-forum-arctic-territory-dialogue> letöltési idő: 2014-10-20 21:33

részvételét a külkereskedelmi és a tranzit áruszállítás összességében; korszerűsíteni kell a kereskedelmi flottát; a hazai üzemekben ehhez megfelelő körülményeket kell kialakítani; meg kell őrizni a világszűkeket a nukleáris meghajtású jégtörő hajók építésében és üzemeltetésében; fejleszteni kell a parti, kikötői, navigációs infrastruktúrát.

A világtengerek nyersanyagainak kiaknázása elengedhetetlenül szükséges Oroszország nyersanyagbázisának kiszélesítéséhez, élelmiszer- és gazdasági függetlenségének megőrzéséhez. A nyersanyagkészletek megőrzése és további bővítése, a stratégiai nyersanyagtartalék létrehozása, a világtengerekből az ásványi kincsek és energiaforrások távlati kiaknázása érdekében meg kell határozni az Oroszországi Föderáció kontinentális talapzatának nyersanyagtartalmait; ki kell aknázni a világtengerek ásványi kincseit és nyersanyagghordozóit.

A világtengereken az Oroszországi Föderáció és szövetségesei fenyegetettségének elhárítása, nemzeti érdekek biztosítása az orosz haditengerészet erejének megőrzésén alapul. A haditengerészetnek fel kell tartóztatnia az országot megtámadó katonai erőt, részt kell vennie az ország szuverenitásának biztosításában, védenie kell az ország jogait kizárólagos gazdasági zónájában és a kontinentális talapzaton. Fenn kell tartania a haditengerészeti jelenlétet a világtengereken, és az ország érdekeinek megfelelő katonai és békefenntartó műveletekben kell részt vennie.

A tengeri doktrínával és az Arktisz politikával összhangban, haditengerészeti politikában is megjelenik az ország arktiszi pozícióinak védelme:

A dokumentum kiemeli, hogy a haditengerészetnek biztosítani kell Oroszország jogait az Északi-sark térségében, valamint az orosz tevékenység szabadságának biztosítását a Fekete- és Kaszpi-tengeren és az ország kontinentális talapzatán. Kimondja, hogy az Azovi-tengert Ukrajna és Oroszország beltengereként kell rögzíteni, valamint biztosítani kell a haditengerészet egységeinek akadálytalan áthaladását a nemzetközi hajózásban használatos öblökon, szorosokon keresztül. Biztosítani kell a haditengerészeti erők külföldön való állomásoztatásának jogi hátterét, a Fekete-tengeri Flotta státusának nemzetközi jogi rendezését, valamint az orosz érdekek érvényesülését az ország területi tengerei, kizárólagos gazdasági zónája és kontinentális jellegének kijelölésében.

Mint ahogy a dokumentumokból is kitűnik a geo-stratégiai felértékelődő régióban a tét óriási, hiszen az orosz flotta jelenleg csak a NATO-tagállamok területének érintésével képes kijutni az Atlanti-óceánra. Mindez folyamatos feszültséget generál Oroszország és a NATO kapcsolataiban. Stratégiaileg ezért szeretné az orosz flotta növelni Barentsburg és az orosz halászok védelmét. Ennek érdekében Oroszország 2008 nyarán hadgyakorlatot tartott a Spitzbergák közelében.²¹ A stratégiai terv az, hogy ezek a gyakorlatok rendszeresek legyenek. Emellett az Északi flotta is növelte aktivitását a térségben. A hidegháború vége óta először repültek át stratégiai bombázók a térség fölött. A repülések negatív visszhangokat váltottak ki a parti országokból. Közben a védelmi minisztérium bejelentette, hogy egy új különleges erőt hoz létre Oroszország arktiszi politikájának támogatására.

Oroszország Arktiszi politikájának változása

²¹ Russia sends Navy vessels to Spitsbergen <http://barentsobserver.com/en/node/21779> letöltési idő:2015-02-12 20:12

Oroszország az Északi-sark régió fejlesztését stratégiai prioritásként határozta meg. Vlagyimir Putyin orosz elnök pedig kijelentette, hogy az Északi-sarkvidék erőforrásai nemzetbiztonsági, katonai, politikai, gazdasági, technológia és környezetvédelmi szempontból kiemelkedő fontosságúak²². Oroszország ugyan hagyományosan az Északi-sark Tanács tagállamait tekinti partnernek a régióval kapcsolatos kérdések megoldásában és általában a nyugat-európai országok az orosz energia elsődleges felvevő piacai, azonban az ország ukrán válság és a Krím-félsziget annektálásának hatására ezekkel a partnereivel „elhidegült” a viszonya. Ennek hatására az orosz vezetés érdeklődése az ázsiai és csendes-óceáni régiók felé fordult. A jelenleg is hozzáférhető politikai dokumentumok már tükrözik ezt a fordulatot, mely még markánsan nem érzékelhető. Az orosz energetika politikában bekövetkező változások és a keleti piacok felé fordulás első-sorban Kína, mint stratégiai partner elfogadásában jelenik meg. Ez azonban nemcsak a kutatók, hanem a kormány és ellenzéke között is jelentős vitákat generál, mert egészen az ukrán válság hatására bevezetett szankciók életbelépéséig Oroszország igyekezett megakadályozni Kína terjeszkedését az Arktiszon. Azonban a bekövetkezett politikai változások elkerülhetetlenné tették, hogy Oroszország a kieső nyugati energetikai partnereit ne keleti országokkal próbálja meg pótolni. Kína, mint feltörekvő gazdaság jelentős gazdasági potenciállal rendelkezik, ugyanakkor hatalmas nyersanyag igényrel is. Az orosz energetikai szektor jelentős része tőke és technológiai importra szorul, melyet jelenleg Kína képes kielégíteni. Ugyanakkor Oroszország eddig nem engedte be a kínai cégeket a kutatás-termelési projektekre. Az ukrán válság miatt kiadott nyugati szankciók és a politikai nyomás együttesen katalizátorként hatnak az orosz politikai vezetésre, melyben egyre kisebb a politikai félelem Kínától és egyre erősebb a gáz és más energetikai beruházások befejezésének igénye. Mindezek ellenére a két ország között fennálló politikai és társadalmi, gazdasági problémák akadályozzák a felmerülő problémák gyors rendezését. Kína és Oroszország ugyanakkor a Távolság-Keleten, illetve Szibériában számos közös fejlesztést hajtott végre. Felmerül a kérdés, hogy Oroszország mennyire elkötelezett hosszútávon a keleti partnerek mellett? Erre a kérdésre jelenleg nem tudunk egyértelmű választ adni.

ÖSSZEZGÉS

Ebben a tanulmányban néhány szempont kiemelésével mutattam be Oroszország Arktiszi stratégiáját, illetve néhány hozzákapcsolódó más stratégiai elemet. Úgy gondolom, hogy Oroszország kapcsán nemcsak az Európa perifériáján elhelyezkedő térséget kell fokozottabban figyelnünk, hanem mindazokat a kihívásokat és gyengeségeket, melyek a régióban bekövetkező változásokat generálják.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Continental boundary Norway-Soviet Union” International Boundary Study Series A Limits of the Sea <http://www.state.gov/documents/organization/61609.pdf> letöltési idő: 2014-03-14
- [2] Forrás: <http://www.nordregio.se/en/Maps--Graphs/05-Environment-and-energy/Resources-in-the-Arctic/> letöltési idő: 2015-02-22
- [3] Forrás: http://www.menasborders.com/menasborders/border_focus/arctic.aspx letöltési idő: 2013-04-12
- [4] G. D. Oleinik, Pristutstvie Rossiiskoi Federatsii na arhipelage Shpitsbergen: politiko-pravovye, ekonomicheskie i gumanitarnye aspekty, The Council of the Federation Committee on Northern Territories and Indigenous Minorities Issues, www.severcom.ru letöltési idő: 2009-06-13

²² Meeting of the Security Council on state policy in the Arctic, 22 Apr. 2014, <http://eng.kremlin.ru/news/7065> letöltési idő: 2015-02-23 20:13

-
- [5] Geri Hønnerland: Norway and Russia in the Barents Sea – Cooperation and Conflict in Fisheries Management <http://www.css.ethz.ch/publications/pdfs/RAD-20-9-11.pdf> letöltési idő: 2014-11-15
- [6] Geri Hønnerland and Anne.kristin Jørgensen: Implementing international agreements in Russia: Fisheries management, nuclear safety and air pollution control <http://www.fni.no/doc&pdf/GEH-ANK-GEP-2003-1.pdf> letöltési idő: 2014-10-02
- [7] Geri Hønnerland: Norway and Russia in the Barents Sea – Cooperation and Conflict in Fisheries Management <http://www.css.ethz.ch/publications/pdfs/RAD-20-9-11.pdf> letöltési idő: 2014-11-15
- [8] IPCC jelentés: Climate Change 2007: Synthesis Report, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf letöltési idő: 2011-10-09
- [9] Katarina B Zysk: Russian military power and the Arctic The EU-Russia Centre Review Issue Eight Russian Foreign Policy 80-86.p. http://www.eu-russiacentre.org/wp-content/uploads/2008/10/review_viii_final_13_10.pdf letöltési idő: 2013-02-14
- [10] Lassi Heininen: High North in world politics and changing geopolitics of north http://www.petsru.ru/Faculties/Politology/ISSK'10/Heininen_High_North.ppt letöltési idő: 2012-05-23
- [11] Russia in the Arctic Hadtudományi Szemle on-line 2012/3-4 szám 166-175. oldal http://hadtudomanyiszemle.zmne.hu/files/2012/2012_2/2012_2_rv_marton_andrea_166_175.pdf letöltési idő: 2014-04-15
- [12] Meeting of the Security Council on state policy in the Arctic, 22 Apr. 2014, <http://eng.kremlin.ru/news/7065> letöltési idő: 2015-02-23
- [13] Norway, Russia Agree on Arctic Border Compromise http://www.rigzone.com/news/article.asp?a_id=91662 letöltési idő: 2014-02-25
- [14] Orosz Föderáció Arktisz stratégiája: <http://www.scrf.gov.ru/documents/99.html> letöltési idő: 2012-05-23
- [15] Padányi József: Az éghajlatváltozás hatása a biztonságra és a katonai erő alkalmazására. Budapest: Stratégiai és Védelmi Kutatóintézet, 2010. Védelmi tanulmányok, ISSN 1216-4704; 63.
- [16] RIA Novoszty: Prime Minister Vladimir Putin speaks at the international forum The Arctic: Territory of Dialogue <http://www.arctic.ru/news/2010/09/prime-minister-vladimir-putin-speaks-international-forum-arctic-territory-dialogue> letöltési idő: 2014-10-20
- [17] RIA Novoszty: Prime Minister Vladimir Putin speaks at the international forum The Arctic: Territory of Dialogue <http://www.arctic.ru/news/2010/09/prime-minister-vladimir-putin-speaks-international-forum-arctic-territory-dialogue> letöltési idő: 2014-10-20 21:33
- [18] Russia sends Navy vessels to Spitsbergen <http://barentsobserver.com/en/node/21779> letöltési idő: 2015-02-12 20:12
- [19] Treaty with Russia <http://memory.loc.gov/cgi-bin/ampage?collId=llsl&fileName=015/llsl015.db&recNum=572> letöltési idő: 2014-03-15
- [20] The grey zone agreement of 1978 <http://www.fni.no/doc&pdf/FNI-R1309.pdf> letöltési idő: 2014-12-20



Hadobács Katalin¹ – Bottyán Zsolt²

NEURÁLIS HÁLÓZATOK ÉS ALKALMAZÁSUK A REPÜLÉSMETEOROLÓGIÁBAN³

Hihetetlen módon gyorsuló világunkban a repülés területén is megnövekedett a fejlődés irama. Ahogy civil vonatkozásban, úgy katonai szempontból is megfigyelhető, hogy a szárazföldi feladatok egyre inkább áthelyeződnek a levegőbe. Ehhez nagyban hozzájárultak az utóbbi évtizedekben robbanásszerűen elterjedő pilóta nélküli repülőgépek is. Az egyes légi műveletek sikeressége, hatékonysága nagymértékben függ az időjárástól, így a hajózó személyzet felől egyre több és speciálisabb igény érkezik a meteorológus szakemberek felé. Jelenleg azonban a prognózisok elkészítéséhez kizárólag a numerikus előrejelző modellek eredményeit van lehetőség felhasználni, amelyek adott időtartományon kívül nem állnak rendelkezésre, valamint e modellek a kis skálájú folyamatokat is gyakran sikertelenül jelzik előre. Ezért elengedhetetlenné vált az időjárás előrejelzés területén új eljárások, eszközök kidolgozása illetve adaptálása. Munkánkban egy hazánk repülésmeteorológiai gyakorlatában még nem elterjedt módszert, a neurális hálókat valamint azok alkalmazhatóságának lehetőségeit mutatjuk be, a vonatkozó hazai és nemzetközi szakirodalom felhasználásával.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND THEIR APPLICATION IN AVIATION METEOROLOGY

In our unbelievably accelerating world, the pace of development has also intensified in the field of aviation. It can be observed from both a civilian and military viewpoint that land activities are increasingly moved into the air. The unmanned aerial vehicle that have spread at an explosive rate in recent decades have considerably contributed to this. The success and efficiency of certain aerial manoeuvres is significantly dependent on weather conditions, thus increasingly many and growingly special demands are received by meteorology experts from aviators. However, currently only the results of numerical forecasting models can be applied in the preparation of prognosis, which are not available outside of a specific time domain, furthermore the models are frequently unsuccessful in forecasting even small scale processes. Therefore, it has become indispensable to develop and adapt new methods, instruments in the field of weather forecasting. In our paper we introduce a method that is not widespread in Hungarian aviation meteorology practice yet, neural networks, and the possibilities of their application, based on related Hungarian and international professional literature.

BEVEZETÉS

Az időjárás pillanatnyi illetve jövőbeni alakulásának ismerete az egyes katonai feladatok tervezésénél és végrehajtásánál napjainkban egyre nagyobb szerepet kap. Kiemelten igaz ez a repülőeszközökkel végrehajtandó műveletek esetében. A döntéshozó parancsnok illetve a hajózó személyzet az aktuális meteorológiai adatok illetve a meteorológus által elkészített prognózisok felhasználásával tud számot vetni az időjárás kedvező vagy kedvezőtlen hatásairól az egyes műveletek során. A megbízható időjárás előrejelzések készítése elképzelhetetlen numerikus és statisztikus előrejelző

¹ meteorológus, MH Geoinformációs Szolgálat, katalin.hadobacs@gmail.com

² egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

³ Lektorálta: Bíró Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu

modellek futtatása nélkül. Egy olyan nem-lineáris rendszer esetében, mint a légkör csak modellezés révén tehetünk becsléseket a jövőbeli fejlődésre [1].

Jelenleg a szakemberek által biztosított meteorológiai információk csak korlátozottan tudják kiszolgálni a felhasználók igényeit. Ennek egyik fő oka, hogy napjainkban, hazánkban a meteorológiai támogatás kizárólag numerikus modellekre alapuló produktumokkal tud jelen lenni, melyek az előrejelzési időtartományon kívül nem állnak rendelkezésre, így például ultrarövid távon (0–3 óra).

Ismert azonban – elsősorban kis skálájú időjárási jelenségek esetében – hogy a numerikus modellek megbízhatósága az átlagosnál lényegesen kisebb. Igaz ez különösen a repülésre veszélyes időjárási helyzetekre, mint pl. a jegesedés, turbulencia, zivatar stb. vonatkozásában. Számos kutatási program foglalkozik e jelenségek fizikájának, előrejelezhetőségének problémakörével.

Az egyre pontosabbá, bonyolultabbá és szerteágazóbbá váló ismeretanyag feldolgozásához nagy szükség van egyéb matematikai módszerek alkalmazására. Különösen érvényes ez a közvetlenül nem mérhető jellemzőkkel rendelkező, bizonytalansággal is terhelt komplex problémák megoldása esetén. Azért, hogy ezt minél hatékonyabban tudjuk végrehajtani, az új eszközökön túl új gondolkodásmódra és az eszközök újfajta használatára is szükség van. Ezért elengedhetetlenné vált a hazánk katonai meteorológiai gyakorlatában még operatíván nem alkalmazott, de külföldön már széles körben, sikeresen használt mérési adatbázison nyugvó, statisztikai megközelítéseken, eljárásokon alapuló elemző és előrejelző módszerek kidolgozására.

Az egyszerű lineáris regressziós modellek mellett a számítógépek és az informatika gyors fejlődése lehetővé tesz olyan módszerek implementálását, melyek reálisabb, bonyolultabb folyamatokat is tudnak kezelni. Egy ilyen hatékony eszközként szolgálnak a többváltozós, nemlineáris regresszió alapuló neurális hálózatok. Mivel a neurális hálók módszere hazánk meteorológiai gyakorlatában még operatíván nincs alkalmazva és kutatások is csak az utóbbi években indultak meg ezen a területen, így maga a módszer illetve a benne rejlő lehetőségek is csak a meteorológusok egy szűk köre előtt ismertek. Ezért e cikk fő célja a neurális hálók elméleti hátterének ismertetése, valamint a meteorológiai alkalmazhatóságának bemutatása nemzetközi és a már rendelkezésre álló néhány hazai szakirodalom alapján.

REGRESSZIÓ-SZÁMÍTÁS – LINEÁRIS REGRESSZIÓ

Mint minden elemző tudomány területén, a meteorológiában is alapvető az összefüggések matematikai vizsgálata. Gyakran előfordul, hogy két változó mennyiség közötti kapcsolatot vizsgáljuk. A kapcsolat szorosságát célszerű egy mérőszámmal jellemezni. Nagyon sok ilyen mérőszám létezik, ezek közül a legelterjedtebb az ún. korrelációs együttható (r) (1) [2]:

$$r = \frac{\sum(x-M_x) \cdot (y-M_y)}{\sqrt{\sum(x-M_x)^2 \cdot \sum(y-M_y)^2}}, \quad (1)$$

ahol: M_x és M_y az x és y változó számtani közepe.

A korrelációs együttható értéke +1 és -1 között változhat. Ha pozitív értékeket vesz fel, akkor a két változó között egyértelmű kapcsolat van. Ha $r=0$, akkor a két változó között nincs összefüggés.

Amennyiben függvényszerű kapcsolatot keresünk egy vagy több független változó (x_1, x_2, \dots, x_n) és egy függő változó (y) között, akkor alkalmazzuk a regresszió számítását. Azaz:

$$x \rightarrow y \text{ vagy } y = f(x) \quad (2)$$

Az, hogy melyik változó legyen a független és melyik a függő mindig attól kell, hogy függjön, hogy milyen irányú oksági kapcsolatot tételezünk fel a változók között. Nem szabad azt figyelembe venni, hogy melyik változót szeretnénk a másik alapján előrejelezni [3].

A függő változó mindig valószínűségi változó, a magyarázó változó azonban nem biztos. Többnyire az y két független, additív komponensre bontható. Az egyik x -ektől függ, a másik az x -ektől független véletlen faktor.

$$y = f(x) + \varepsilon, \quad (3)$$

ahol: ε a hiba komponens.

Ha a közelítés módja lineáris, akkor lineáris regresszióról beszélünk. Ha csak egy független változónk van, akkor egyváltozós regresszióról van szó. Abban az esetben, ha az előbbi feltételek közül mindkettő fennáll, akkor egyváltozós lineáris regresszióval van dolgunk.

Az általános modell egyenlete (3) lineáris függvénnyel felírva (4):

$$y = ax + b + \varepsilon, \quad (4)$$

ahol: a és b együtthatók;
 x és y független és függő változók;
 ε a hiba komponens.

A legjobb közelítés akkor érhető el, ha:

- a hiba szórása minimális, és
- a hiba átlaga nulla.

A feladat tehát az, hogy megtaláljuk azt az a és b együtthatót, mellyel az $ax+b$ a legjobb közelítése y -nak, azaz a pontokra illeszkedő legjobb egyenest kell megtalálni. Az $y=ax+b$ olyan (x,y) pontokból álló egyenes, melynek meredeksége a , és a függőleges tengelyt b magasságban metszi [4].

A korrelációs együttható (1) és a kapcsolatba hozott változók számtani közepének és szórásának ismeretében tudjuk meghatározni a regressziós egyenes egyenletében szereplő együtthatók értékét, melyek a következő formában írhatók fel [2]:

$$a = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad (5)$$

$$b = \bar{y} - \bar{x} \cdot a, \quad (6)$$

ahol:

σ_y illetve σ_x függő és független változók szórása,
 \bar{y} és \bar{x} a függő illetve független változó mintaátlaga.

Miután meghatároztuk az együtthatókat, meg kell vizsgálni a modell jóságát. Ehhez a lépéshez tartozik:

1. az illeszkedés globális vizsgálata, melyet F-próba segítségével lehet elvégezni,
2. az egyes paraméterek egyenkénti vizsgálata, melyet t-próbával lehet ellenőrizni, valamint
3. a kapcsolatok szorosságának és a függő változó meghatározottságának vizsgálata, melyet a függő változó és az $ax+b$ korrelációjának a négyzete ad meg (R^2).

Ha nem tudjuk eldönteni, melyik változót tekintjük független és melyiket függő változónak, vagy ha tudjuk, hogy a független változó a függő változóval azonos nagyságrendű véletlen hibával terhelt, akkor a regresszió számítás nem alkalmazható [5][6].

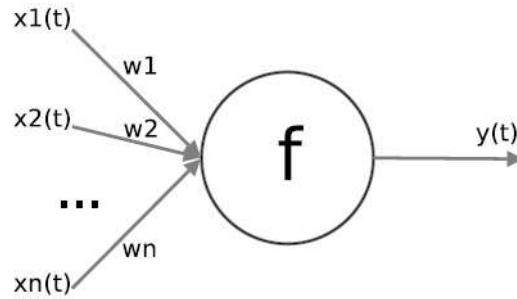
A statisztikai modellek elsősorban az egyes meteorológiai elemek között a matematikai statisztika eszközeivel igyekeznek minél szorosabb kapcsolatot létesíteni. Az egyik legelterjedtebb módszer a fent részletesebben bemutatott lineáris regressziós egyenessel való közelítés alkalmazására a Modell Kimenet Statisztika (MOS megközelítés). Ennél az eljárásnál a keresendő paraméter becslése a modell outputokra illesztett lineáris regressziós egyenessel történik. Ennek a fő hibája, hogy a modell eredmények hibáit, valamint a módszerekben rejlő hibákat is továbbviszi a rendszerbe, valamint az algoritmus is csak az alkalmazott modell adott beállítás mellett működik [6]. Habár a szakterület hatékonyan alkalmazza a lineáris regresszió alapuló módszereket, a jövőben a pontosabb, korrektebb eredmények érdekében érdemes lenne a nem-lineáris regresszió alapuló módszerek fejlesztése, adaptálása. Ennek egy lehetősége a neurális hálózatok bevezetése.

NEURÁLIS HÁLÓZATOK

A neurobiológia és az informatika rohamos fejlődése és összefonódása napjaink bonyolódó információelemzési problémáinak egyike. A mesterséges neurális hálók az agyműködés legkisebb önálló egységei, a neuronok modellezése révén létrejött összetett hálózatot szimulálva látnak el feldolgozási és elemzési feladatokat [7].

A mesterséges neuronok

Egy mesterséges neurális háló egyszerű számítási egységekből, mesterséges neuronokból áll, melyek egymásnak küldött jelekkel kommunikálnak. A jelek nagyszámú súlyozott kapcsolaton áramlanak. A mesterséges neuron az agyi neuron másolata [8]. A legegyszerűbb formában a 1. ábrán látható módon lehet szemléltetni.

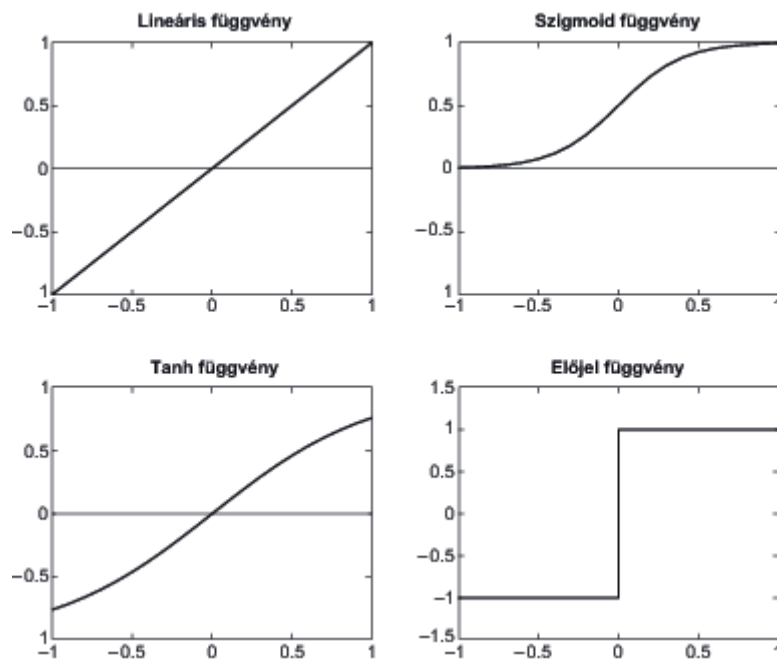


1. ábra Általános neuronmodell [9]

A beérkező jeleket részösszegként, előzetes információk, tanítás alapján súlyozva állapítja meg a kimeneti jelet. A kimenet generálása valamilyen transzferfüggvény segítségével történik, mely a gyakorlatban többnyire nem lineáris, mivel ha itt is lineáris függvényt vezetnénk be, akkor ugyanúgy lineáris regresszióhoz jutnánk. E transzferfüggvény (átviteli függvény) többféle is lehet:

- lineáris;
- lineáris küszöbfüggvény;
- lépcsős függvény;
- szigmoid függvény;
- tangens hiperbolikus;
- logisztikus;
- radiális bázis ... stb.

Az 2. ábrán néhány gyakran alkalmazott transzferfüggvény tekinthető meg [9].



2. ábra Transzferfüggvények

Mindegyikben közös, hogy a leképezés korlátos, az eredménye mindenféleképpen a $[-1;1]$ intervallumba eső legyen, és a folytonosan differenciálhatóság. Utóbbi tulajdonság különösen nagy szerepet játszik a súlytanulási algoritmusnál [10].

Általánosságban elmondhatjuk, hogy a neuronmodellek mindegyike rendelkezik a következő tulajdonságokkal:

- n darab, időtől függő bemenet $x_i(t)$, $i=1, \dots, n$;
- egyetlen időtől függő kimenet $y(t)$;
- a bemenetek súlyozásra kerülnek a kimenetre gyakorolt hatásuk alapján. w_i ($w_i < 0$ esetén gátló, $w_i > 0$ esetén serkentő);
- $y(t)$ valamilyen függvénykapcsolatban van a bemenetekkel, figyelembe véve a súlyokat $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n, w_1, w_2, \dots, w_n)$.

A kimenet számítási módjától illetve a be- és kimenetek értékeitől függően különböztetünk meg neuronmodelleket, mint például lineáris neuronmodell, McCulloch-Pitts neuronmodell, leaky integrator modell, integrate and fire neuronmodell [9].

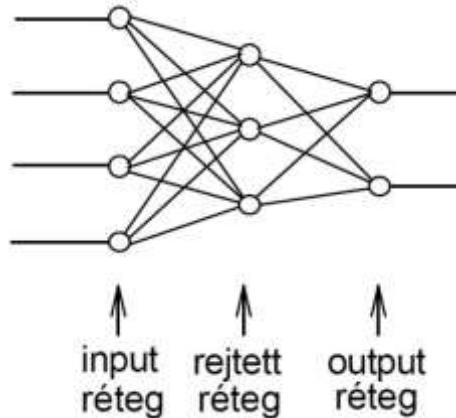
Neurális hálózatok

A neuronmodelleket összekapcsolva neurális hálózatokat kapunk. Az összekapcsolás azt jelenti, hogy az egyik neuron kimenetét összekötjük egy másik neuron egyik bemenetével. Többnyire egy irányított gráffal reprezentálhatjuk őket (3. és 4. ábra), ahol a csúcsok képezik a neuronokat, az élek az összeköttetéseket, míg az irányok a kimenetből a bemenet felé mutatnak. A neuronok ugyanolyan vagy hasonló típusú műveleteket végeznek. Egy hálózatban ezeket a műveleteket a többiekétől függetlenül, lokálisan végzik. Az azonos típusú műveleti elemek alkotnak egy réteget (layer). Az egyes rétegekhez tartozó neuronok az előző réteg kimenetével illetve a következő réteg bemenetével vannak összekötve [11].

A részfeladatok megoldására alkalmas hálózati kapcsolatok felépítéséhez elengedhetetlen egy bemeneti réteg, ahol azon neuronok helyezkednek el, melyek a bemeneti jel továbbítását végzik a hálózat felé. Emellett kell egy vagy több számítást végző rejtett réteg, ahol tulajdonképpen a feldolgozást végző neuronok találhatóak. Valamint létezik egy kimeneti réteg, ahol a neuronok azon csoportja van, melyek a külvilág felé továbbítják az információkat.

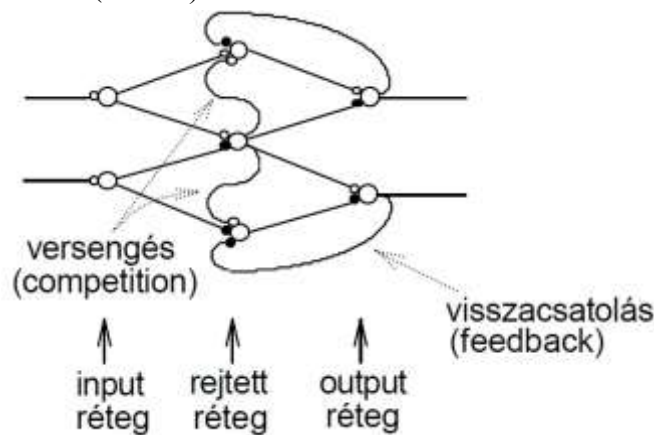
A rejtett réteg(ek) neuronjai kapcsolódnak mind a bemeneti, mind a kimeneti réteghez, a kapcsolatok struktúrája alapján a neurális hálóknak két fő csoportja különböztethető meg:

1. előrecsatol (hurokmentes) (3. ábra):



3. ábra Előreccsatolt neurális hálózat sematikus ábrája [12]

2. visszacsatolt hálózat (4. ábra):



4. ábra Visszacsatolt neurális hálózat sematikus ábrája [12]

Mivel többnyire a meteorológiai célú alkalmazások során előreccsatolt neurális hálókat használnak, így a továbbiakban e cikkben is ezekkel foglalkozom.

Előreccsatolt neurális hálók

A hálózat egy adott rétegben található neuronjai csak az őt közvetlenül megelőző réteg neuronjaitól kap jelet. A háló struktúrájának felállításánál nincsenek szigorú szabályok, azonban a rétegek számának meghatározásánál a megoldandó feladat bonyolultságától, összetettségétől függően egy vagy két rejtett réteget érdemes kijelölni. Ennél több réteg meghatározása már hatékonyság szempontjából nem célszerű, ugyanis a modell futási ideje drasztikusan megnő, illetve instabillá válik a hibagradiens is [13]. Meteorológiai alkalmazás során a szakirodalom szerint jellemzően egy rejtett réteget szoktak alkalmazni, mivel az adott feladatok megoldásánál így is megfelelően pontos információkhoz jutunk.

A struktúra kialakításának egy másik fontos mozzanata az egyes rétegek neuron-számának meghatározása. Erre a kutatások alapján nincs egzakt, elfogadott szabály, azonban néhány már korábban jól alkalmazott összefüggés fellelhető a szakirodalomban.

Egyik ilyen például, amikor a rejtett neuronok száma (j) a bemeneti (a) és a kimeneti neuronok (b) számából a következő egyszerű összefüggéssel állapítható meg (7) [14]:



$$j = \sqrt{a \cdot b}, \quad (7)$$

Vagy egy másik ajánlás, amikor a rejtett neuronok száma a bemeneti neuronok számának 75%-val egyezik meg. A leggyakrabban alkalmazott lehetőség azonban, amikor a bemeneti neuronok számának maximálisan kétszerese a rejtett neuronok száma [15].

A nagyméretű hálózatok előnyeként meg kell említeni, hogy szinte bármilyen feladat megoldásában pontos eredményt adnak vissza, amennyiben a keletkező redundancia ki van küszöbölve. Azonban a kisebb hálózatok folyamatos bővítésével a betanítás és a számítások ideje meghosszabbodik, de az erőforrásigénye jóval kisebb [16].

A neurális hálózatok alkalmazását egy adott probléma megoldására mindig egy tanulási folyamat kell, hogy megelőzze, ugyanis pont ez lesz az előnye az operatíván alkalmazott módszerekkel szemben, hogy a múltbeli folyamatok ismeretében kerülnek módosításra a kezdetben véletlenszerűen kijelölt hálózati súlyok. Tehát magát a tanulást úgy lehet definiálni, mint a hálózat memóriájának, azaz a súlyoknak (súlymátrix) a változását. Két fő tanulási kategóriát lehet megkülönböztetni:

1. felügyelt tanulás
2. felügyelet nélküli tanulás

Meteorológiai vizsgálatok során, adatbázisokon alapuló futtatásokat végzünk, ezért a két tanulási folyamat közül számunkra az ellenőrzött tanulás alkalmazása a célszerű, mivel rendelkezésre állnak be- és kimeneti adatpárok. Tehát egy adott bemenet esetén tudjuk, hogy mit várunk kimeneti értéként. Így a hálózat választát össze lehet hasonlítani a várt eredménnyel. A tanulási folyamat során az a cél, hogy az ismert kimeneti minták értékeit kapjuk vissza. Tehát a keletkező hiba, a két válasz különbsége lesz felhasználva a hálózat tanítására. Ezt a különbséget kell minimalizálni. Ehhez a hiba-visszaterjesztési tanulási alapelv nyújt segítséget, ahol a minimalizálását iteratív módon hajtjuk végre. A hálózat a tanulási folyamat során a hiba csökkenésének mértéke szerint változtatja a súlyokat, amíg egy adott feltételnek meg nem felel az eredmény. A súlyfrissítésnek két féle módja van:

1. a teljes minta adatsor egyszeri végigfutása után történik meg a súlyfrissítés
2. minden tanuló minta után frissít a rendszer.

A mintaadatsor kijelölése során érdemes arra figyelni, hogy a mintaadatok száma legalább ötszöröse legyen a hálózati súlyok számának [17].

Ahogy a statisztikai modellek nagy része a neurális hálónál is felmerülhet a túltanulás eset, vagyis a túlilleszkedés. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy hiába memorizálja a rendszer a példákat, nem tudja általánosítani az új bemenetekre [18].

Tehát úgy kell megválasztani a tanulásra alkalmazott adatsort, hogy ne legyen átfedés a validációs résszel. Korábbi kutatások tapasztalatai szerint a rendelkezésre álló adatsor nagyobb részét (~70%) szükséges tanulásra fordítani, így a maradék rész (~30%) segítségével a hálózat általánosító képességét lehet fejleszteni. Utolsó simításként a végső beállítások meghatározásához gyakran a korai leállítási módszert alkalmazzák, mely során azelőtt állítják le a tanulási folyamatot, mielőtt a validációs adatsorra vonatkozó hiba szignifikánsan nőni kezdene. Ennél az eljárásnál a hibafüggvényt a két adatsorra vonatkozóan együtt vizsgáljuk [10]. A tanulási és



validálási folyamat befejezését követően az előállított neurális háló alkalmazhatóvá válik a feladatok megoldására.

A mai neurális hálók még messze állnak a teljes céltól, azaz az emberi aggyal összemérhető szintű működéstől, azonban az egyéb modellekhez illetve eljárásokhoz képest már most jelentős előnyökkel rendelkeznek.

Mindenekelőtt ki kell emelni, hogy fejlesztésük bizonyos mérvű egyszerűséggel végezhető, így nem szükséges hozzá átfogó programozási ismeret, mivel a rendszer a feladathoz alkalmazkodik, azaz „önállóan” tanul. Habár ebből az is következhet, hogy a kapott eredmények nehezen értelmezhetőek a felhasználó számára, mivel a hálózat egy ún. fekete dobozként működik, amibe nem látunk bele, így az eredmények jóságát különböző statisztikai módszerekkel kell mérni. Struktúrájukból fakadóan a memória szétosztott, azaz párhuzamos feldolgozásokat végez, így nagyobb sebességgel végezhetőek el a futtatások.

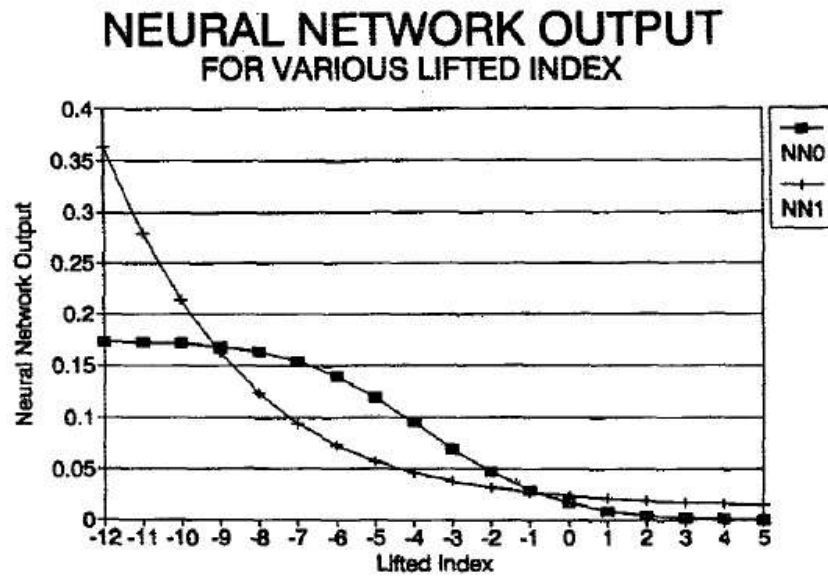
A meteorológiai vizsgálatok során kiemelkedő jelentőséggel bír az egyéb statisztikai eljárásokkal szemben, hogy a lineáris számítási elemek mellett megjelennek a nemlineáris, numerikus számítási folyamatok, valamint zajos és hiányos adatokat is képes bemeneti adatként elfogadni, és abból értékelhető eredményt előállítani.

NEURÁLIS HÁLÓZATOK METEOROLÓGIAI CÉLÚ FELHASZNÁLÁSA

Egy neurális hálózat sokféleképpen épülhet fel, sokféle tanítási eljárással tanítható, és e tulajdonságok biztosítják, hogy többféle tudományterületen válik elengedhetlenné az alkalmazása. A meteorológia területén is egyre nagyobb teret hódítanak a neurális hálók. Az utóbbi évtizedben különösen nagy figyelem irányul a környezet szennyezésre, így egyértelmű, hogy számos kutatás irányul ennek meteorológiai aspektusaira. A meteorológia és a légszennyezés szoros, bonyolult kapcsolatban állnak, ezért a neurális rendszer természetéből adódik, hogy alkalmazható levegőkémiai vizsgálatokra. Yi és Prybutok (1996) valamint Boznar et al. (1993) ipari területekre készített ózon illetve kén-dioxid koncentráció változására vonatkozóan előrejelzéseket [19][20]. Mindkét kutatás során kimutatható volt, hogy a regresszió számítás eredményei elmaradtak az új technika mellett. Ugyanezt támasztotta alá Comrie (1997) összehasonlító tanulmányában is [21].

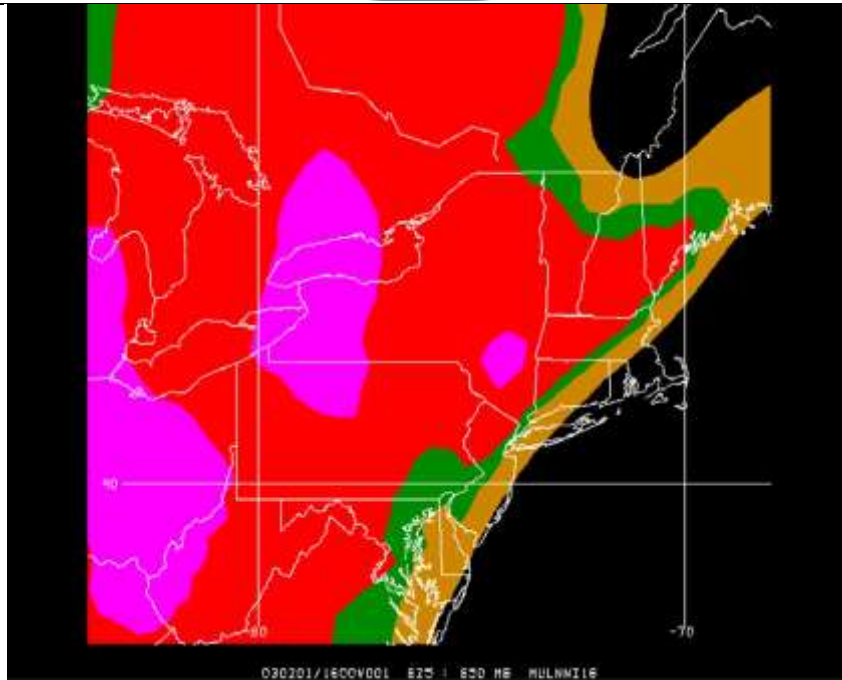
A légkört vizsgáló tudományban sok olyan feladat merül fel, ahol bizonyos jelenségeket, folyamatokat különböző osztályokba kell sorolni, vagy azonosítani kell. Számos publikáció bizonyítja, hogy e téren is van létjogosultsága az új eljárásnak. Peak és Tag (1992) felhőosztályozást végzett el műholdképek felhasználásával, Verdecchia et al. (1996) a blocking helyzeteket azonosított, Hagelberg és Helland (1995) pedig radarképek felhasználásával határozta meg a konvergencia vonalakat [22][23]. Kutatásaikkal hozzájárultak ahhoz, hogy a meteorológus szakembereknek az időjárás pillanatnyi, aktuális állapotát könnyebb legyen felmérni. Illetve munkájukat is egyszerűbbé teszi, ha a műhold illetve radarképek mellett azok értékelése, analizálása is a rendelkezésükre áll, melyek kizárólag objektív alapokon állnak.

A meteorológia szakterületének Achilles-pontja a repülésmeteorológia, annak is a repülésre veszélyes jelenségekkel foglalkozó területe. A szakemberek legnagyobb kihívása e folyamatok előrejelzése mind térben mind időben. Ilyen téren az első értékelhető eredmények McCann-nek (1992) köszönhetőek, aki a zivatarok előfordulásának előrejelzésére vonatkozóan készített algoritmust [24]. Kísérletet tett a zivatar kialakulásáért felelős paraméterek (stabilitás, emelő hatás) kapcsolatának vizsgálatára (5. ábra), azonban arra a következtetésre jutott, hogy lehetetlen megérteni a neurális hálók „fekete dobozát”. Így munkássága akkoriban nem aratott osztatlan sikert a kollégái között.



5. ábra A neurális hálózat kimenete (output) különböző lifted indexek (emelési index) mellett. Az outputok dimenzió nélküli számok 0 (nem mérvadó zivatar előrejelzése) és 1 (mérvadó zivatar előrejelzése) között. (NN0 és NN1: a kutatás során alkalmazott két futtatás). [24]

A neurális hálókkal történő vizsgálatait azonban nem hagyta abba, így egy másik repülést veszélyeztető jelenség, a repülőgép felületi jegesedésének előrejelzésére is készített algoritmust [25], melynek eredményeinek térképes megjelenítése a 6. ábrán látható.



6. ábra Neurális háló outputjának térképes megjelenítése a 825-850 mb nyomási szint között tapasztalható jegesedésre vonatkozóan 2003. február 1-jén 16 UTC időpontra (15 UTC-től számított 1 órás előrejelzés) [25]

Egy-egy repülési feladatot azonban nem csak a veszélyes jelenségek tudnak megghiúsítani, hanem a csapadék, a felhőzet alapjának illetve a látástávolságnak a csökkenése is. Így egyértelmű, hogy e területen is releváns a neurális hálók alkalmazása [26][27][28]. Mint ahogy a statisztikai modellek nagy részénél, a neurális hálók alkalmazásával elkészített produktumok is elsősorban ultrarövid távon (3-6 óra) mutatnak jó eredményt. Ezt bizonyítja Fabbian és társai által kidolgozott rendszer kísérleti alkalmazása a Canberrai Nemzetközi repülőtéren, mely a látástávolságok előrejelzésére kategóriákat vezet be, így eredményként megkapjuk egyértelműen, hogy adott időben a látástávolság melyik intervallumba esik. Kiemelten fontos az egyértelmű eredmény kód esetén [29].

Jelenleg a vizsgálatok nagy része a látástávolsággal kapcsolatosak, mivel e paraméter előrejelzésére vonatkozóan a numerikus modellek nem szolgáltatnak információt, így nagy kihívást jelent az előrejelzőknek.

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A hazai (katonai) repülésmeteorológiai gyakorlatban szinte teljesen hiányoznak a repülésre veszélyes időjárási jelenségekre vonatkozó előrejelzési produktumok. Mivel e folyamatok méretük-nél fogva egyébként is numerikus modellekkel nehezen vagy egyáltalán nem előrejelezhetőek, így legfőbb célom olyan statisztikai eljárások kidolgozása, vagy már külföldön bevált módszerek Kárpát-medencére való adaptálása, melyek kimondottan e problémára jelenthetnek megoldást. Mindezt a neurális-hálók alkalmazásával tervezem elkészíteni. Így elsőként a legfontosabb feladat a meteorológia tudományágának megfelelő neurális háló típust, illetve annak beállításait ki-



alakítani. Ehhez a MATLAB szoftvert alkalmazom. A MATLAB programban kétféle módon tudunk létrehozni neurális hálózatokat. Az első és egyben nehezebb megvalósítási koncepció, hogy a program Command Window paneljét használva parancsnyelven hozzuk létre azt a hálózati struktúrát, amire éppen szükségünk van. Másik lehetőség, melyet kutatásim során használni kívánok, egy egyszerűbb mód, a Neural Netwok Toolbox. Ez a MATLAB-ban elérhető grafikus eszköz a neurális hálózatok kezelése céljából [30].

Ezt követően a kidolgozott módszerek független statisztikai adatbázis és kísérleti mérési adatok felhasználásával tesztelésre kerülnek, majd különböző verifikációs eljárások segítségével ellenőrzöm eredményeimet. Az új eljárás hatékonyságát, illetve operatív használatba való állítás szükségességét objektív értékeléseken alapuló esettanulmányok segítségével szeretném alátámasztani.

ÖSSZEZÉS

A repülésmeteorológusok irányába támasztott egyre nagyobb és széleskörűbb igények a felhasználók felől megkövetelik a folyamatos kutatásokat, annak érdekében, hogy új, hatékonyabb költségtakarékosabb módszerek kerüljenek kidolgozásra az időjárás minél pontosabb előrejelezhetőségének érdekében. Ehhez azonban elengedhetetlen az egyéb, kapcsolódó tudományterületeken (matematika, számítástechnika) az újabb és újabb egyre fejlettebb módszerek, eszközök kialakítása. Egyik ilyen, az utóbbi évtizedek leginkább figyelemmel kísért számítástechnikai és egyben matematikai fejlesztése a neurális hálózatok, melyeket még most is vegyes fogadtatás kísér a szakemberek körében is.

Habár elmondható, hogy napjainkra a neurális hálók túlnőttek a velük szemben támasztott követelményeken, és ahogy a cikkben is bemutattam számos meteorológiai kutatás során is alkalmazzák már őket. A számítástechnika e területre irányuló fejlesztései még messze nem érték el a lehetséges célt, így a folyamatos fejlesztések révén a meteorológusok is újabb és újabb eszközöket kapnak, amik segítségével a légkörben zajló összetett, bonyolult folyamatokat egyre pontosabban tudják modellezni majd előrejelezni.

További kutatásaim célja olyan hatékony értékelő és előrejelzési módszerek, eljárások kidolgozása és fejlesztés, melyek jelenleg a hazai repülésmeteorológiai gyakorlatban teljesen hiányoznak. Mindezt a cikkben bemutatott, e területen még újnak számító neurális-hálók alkalmazásával tervezem elkészíteni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] HORÁNYI ANDRÁS: Egységes időjárási és éghajlati előrejelző rendszer kifejlesztése az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. 34. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai (Szerkesztette: Weidinger T.), Budapest, OMSZ, 2009, pp. 39-52.
- [2] Dr. Péczely György: Éghajlat. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998, pp.285-321.
- [3] Két mennyiség kapcsolatának vizsgálata, korreláció és lineáris regresszió. url: <http://rs1.szif.hu/~szorenyi/elm/bioselm7.htm> (2015.01.15.)
- [4] Csordásné Marton Melinda: Matematikai példatár VII., Lineáris algebra II., 2010, url: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_MAT7/ch01s07.html (2015.01.25.)
- [5] Dr. Reiczigel Jenő: A regressziószámítás gyakorlati kérdései. url: <http://www2.univet.hu/users/jreiczig/omaa-courses-2001/regr-hun.pdf> (2015.02.25.)

- [6] Dévényi Dezső – Gulyás Ottó: Matematikai statisztika módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- [7] Horváth Gábor: Neurális háló és műszaki alkalmazásai. Műszaki Egyetem, 2006.
- [8] Fazekas István: Neurális hálózatok. Debrecen, 2013. url: http://w1.inf.unideb.hu/documents/19512/90610/Neuralis_halozatok_v8.pdf/821f6e89-40f9-4ec6-8f2d-61de3e6d4bf8
- [9] Bérci Norbert: A neurális hálózatok alapjai. 2005. url: http://virt.uni-pannon.hu/index.php/component/docman/doc_download/55-neuralishalozatok
- [10] Anil K. Jain, Jianchang Mao: Artificial Neural Networks: A Tutorial. Computer, 29, 3, 1996, pp. 31-41.
- [11] Kröse B., van der Smagt P.: An introduction to neural network. University of Amsterdam, 1996
- [12] Dr. Dudás László: Mesterséges intelligencia. url: <http://ait.iit.uni-miskolc.hu/~dudas/MIEAok/MIEa1.PDF> (2015.02.23.)
- [13] Svozil D., Kvasnicka V., Pospichal J.: Introduction to multi-layer feed-forward neural networks. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 39, 1997, pp. 43-62.
- [14] Kaastra I., Boyd M.: Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. Neurocomputing, 10, 1996.
- [15] Katz J. O.: Developing neural network forecasters for trading. Technical Analysis of Stocks and Commodities, 8, 1992, pp 58-70.
- [16] Zaletnyik Piroška: WGS-84 – EOVS koordináta transzformáció neurális hálózattal. BME, TDK dolgozat, 2003.
- [17] Klimasaukas C. C.: Applying Neural Networks, in R. R. Trippi and E. Turban, editors, Neural Network sin Finance and Investing: Using Artificial Intelligence to IMprove Real World Performance, Chicago, 1993, pp. 65-65.
- [18] Jeanett Lawrence: Introduction to Neural Networks. California Scientific Software, Grass Valley, 1991, p 203.
- [19] Yi J. and Prybutok R.: A neural network model forecasting for prediction of daily maximum ozone concentration in an industrialised urban area. Environmental Pollution, 92, 3, 1996, pp. 349-357.
- [20] Boznan M., Lesjak M. and Mlakar P.: A neural network-based method for short-term predictions of ambient SO₂ concentrations in highly polluted industrial areas of complex terrain. Atmospheric ENvironment, 27, 2, 1993, pp. 221-230.
- [21] Comrie A. C.: Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting. Journal of Air and Waste Management, 47, 1997, pp 653-663.
- [22] Peak J. E. and Tag P. M.: Towards automated interpretation of satellite imagery for navy shipboard applications. Bulletin of the American Meteorological Society, 73, 7, 1992, pp 955-1008.
- [23] Verdecchia M., Visconti G., D'Andrea F. and Tibaldi S.: A neural network approach for blocking recognition. Geophysical Research Letters, 23, 16, 1996, pp. 2081-2084.
- [24] McCann D. W.: A neural network short-term forecast of significant thunderstorms. Forecasting Techniques, 7, 1992, pp 525-534.
- [25] McCann D. W.: NNICE – A neural network aircraft icing algorithm. Environmental Modelling & Software, 20, 2005, pp 1335-1342.
- [26] Pasini A., Pelino V., Potesta S.: A neural network model for visibility nowcasting from surface observations: Results and sensitivity to physical input variables. Journal of Geophysical Research, 106, 2001, pp 954-959.
- [27] Dean A. R., Fiedler B. H.: Forecasting Warm-Season Burnoff of Low Clouds at the San Francisco International Airport Using Linear Regression and a Neural Network. Journal of Applied Meteorology, 41, 2001, pp 629-639.
- [28] Brenners J. B., Michaelides S.: Probabilistic forecasts of rare visibility events using neural networks, Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds. Workshop Proceedings, 2005.
- [29] Fabbian D., De Dear R., Lellyett S.: Application of Artificial Neural Network Forecasts to Predict Fog at Camberra International Airport , Weather and Forecasting, 22, 2007, pp. 372-381.
- [30] Stoyan Disbert (szerk.): MATLAB, Typotex, Budapest, 2011.

Szaniszló Zsolt¹

KATAPULTULÉS A „HÓVIHARBAN”. A SZOVJET ŪRREPŪLŐGÉP SZEMÉLYI MENTŐRENDSZERE²

A tanulmány nem a télre jellemző egyik természeti jelenséggel, hanem a „Buran”³ néven ismert szovjet ūrrepülőgép személyi vészmentő berendezésével: a katapultüléssel és a pilóta mentőejtőernyővel kapcsolatos tudnivalókat foglalja össze. Röviden bemutatja a szovjet ūrrepülő program történetét, az elért technikai eredményeket, valamint annak igényét, hogy vészhelyzet esetén is biztosítva legyen az ūrrepülőgép biztonságos elhagyása a kozmonauták számára. Mivel a szovjet katonai repüléstechnikában ekkor már rendszerben állt a komoly sikereket elért K-36D típusú katapultülés, valamint PSzU-36 típusú pilóta mentőejtőernyő, így adódhatott ezek „kozmosz” felhasználhatóságának ötlete. Erre a speciális alkalmazásra végül mégsem került sor, pénzügyi okokra visszavezethetően. Ez azonban nem csökkenti a Gaj I. Szeverin vezette mérnök-kollektíva érdemeit, így ezt a tanulmányt az ő tiszteletükre ajánlom.

EJECTION SEAT IN THE „SNOWSTORM”. THE SOVIET SPACE SHUTTLE’S PERSONNEL EMERGENCY SYSTEM

The study does not deal with the natural phenomena of the wintertime season, but summarizes the information on the personnel emergency system of the Soviet Space Shuttle known „Snowstorm”. The system consists of an ejection seat and one personnel emergency parachute. My study presents the story of the Soviet Space Shuttle-program shortly, the final technical results of it, and highlights the fact of the need for the secure ejection of the Space Shuttle in emergency situation for cosmonauts. The type K-36D ejection seat and the type PSU-36 personnel emergency parachute had been already available for the Soviet military aviation at that time, this possibility give a chance to make a good use of them in other areas such as „space” as well. The special deployment of these equipment has not been introduced in real life, especially for financial issues. However this fact does not reduce the merits of engineers’ collective leaded by Gai I. Severin, therefore I dedicate this study for their honour.

BEVEZETÉS

A repülési, illetve ūrrepülési feladat végrehajtása csak abban az esetben értékelhető teljesen sikeresnek, ha a légi jármű és az abban helyet foglaló utasok épen és egészségesen szállnak le a kívánt repülőtérré, illetve térnek vissza a Föld felszínére⁴.

Az emberi személyzettel végrehajtott ūrrepülés teljes körű biztonsága, – és nem az FAI⁵ által elfogadott új repülési rekord hitelesítése⁶ - szempontjából ez már az ún. „űrverseny” kezdetén is alapvető igényként jelentkezett. Minden bizonnyal ez így marad a jövőben is.

¹ százados, hatósági ejtőernyős, NKH Légügyi Hivatal Állami Légügyi Főosztály, Szaniszló.Zsolt@nkh.gov.hu

² Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, NKE KRT, ovari.gyula@uni-nke.hu

³ Hóvihar (oroszul „Буря”) – a Szerző megjegyzése.

⁴ Tanulmányom tárgyát a Föld felszínéről földkörüli pályán keringő ūrállomásra, majd onnan a Föld felszínére visszatérő, többször felhasználható személyszállító ūreszköz jelenti, így nem foglalkozik az ún. bolygóközi ūrrepülés technikai megvalósíthatóságával. – a Szerző megjegyzése.

⁵ Nemzetközi Repülő Szövetség (fr. „Fédération Aéronautique Internationale”) – a Szerző megjegyzése.

⁶ Az első ūrrepülést végrehajtó pilóta a „repülőeszköz”-étől függetlenül, ejtőernyővel hajtotta végre a leszállást [1], amely a repülési rekord elfogadásakor – jogi értelemben – okozott némi félreértést. – a Szerző megjegyzése.

A(z űr)történelem ezen kezdeti, több mint három és fél évtizedes szakaszát az első két űrnagyhatalom, a Szovjetunió és az Amerikai Egyesült Államok vetélkedése jellemezte a múlt század második felében, a hidegháború árnyékában. Az alapvetően politikai síkon indított küzdelem először az egész Földre, majd a Földet körülvevő kozmikus térségre is kiterjedt.

A személyzettel végrehajtott űrrepülés kezdeti szovjet sikereit (első ember a világűrben, első űrrandevú, majd összekapcsolódás, többszemélyes űrrepülés megvalósítása), amit a XX. század utolsó nagy kalandja, az amerikai emberes Holdra szállás sikere kezdte elhalványítani. A Föld körüli pályán keringő hosszú élettartamú űrállomások (szovjet részről a Szaljut⁷ és a Mir⁸, amerikai részről a MOL⁹ és a Skylab¹⁰) új lehetőséget biztosítottak a vetélytársaknak mind az eddigitől eltérő kialakítású személyszállító űrjárművek tervezése, mind azok katonai felhasználása területén.

A nukleáris, valamint a lézerfegyverek világűrbe történő telepítésének vágya mindkét országot újabb technikai fejlesztésekre ösztönözte, amely a gazdaságosság szempontjából a többször felhasználható, elsősorban a Föld légkörébe repülőgépszerűen visszatérő személyszállító űrjárművek alkalmazását célozta meg. Köszönhetően a Columbia űrrepülőgép háromnapos, már személyzettel végrehajtott űrrepülését követő¹¹ 1981. április 14-ei [3] sikeres leszállásának, az űrverseny ezen szakaszában ismételt amerikai előny mutatkozott. Így a Szovjetunió is fel kellett gyorsítsa saját, már évek óta titokban, „Burja”¹², „Igla”¹³, „Uragan”¹⁴, „BOR”¹⁵, „Buran” stb. fedőneveken zajló [4][5] űrrepülőgép-programjait.

Ennek lendületét csak fokozta a 33. amerikai elnök, Ronald Wilson Reagan által 1983-ban meghirdetett „SDI¹⁶-terv” – nyolc évvel a hidegháborús „enyhülés”-t szimbolizáló, 1975-ben sikeresen végrehajtott közös szovjet-amerikai űrrepülést követően –, így a szovjet űrrepülő-program az 1980²-as évek közepére már komoly kutatási eredményekkel rendelkezett. Az egymással párhuzamosan futó űrrepülőgép-programok személyzet nélkül, automata üzemmódon számos kísérleti repülést hajtottak végre. Ezek sikerei – egyes programok leállítása mellett – felgyorsították a többfőnyi személyzet biztonságos szállítását lehetővé tevő – már ekkor Buran-nak keresztelt¹⁷ szovjet űrrepülőgép – tervezésének folyamatát.

Annak kérdése, hogy az addigi szovjet személyszállító űreszközöktől teljesen eltérő kialakítású, negyedik generációs jármű rendelkezzen-e olyan mentőberendezéssel, amely az űrrepülés adott veszélyes körülményei között képes a személyzet túlélését biztosítani, nem lehetett vita tárgya.

⁷ Üdvölvés (or. „Салют”) – a Szerző megjegyzése.

⁸ Béke (or. „Мир”) – a Szerző megjegyzése.

⁹ Emberes Orbitális (pályán lévő űr)Laboratórium (ang. „Manned Orbital Laboratory”) – a Szerző megjegyzése.

¹⁰ Égi Laboratórium (ang. „Sky Laboratory”) – a Szerző megjegyzése.

¹¹ A Space Shuttle első emberes űrrepülése nem véletlenül esett április 12-ére: az amerikaiak így kívántak tisztelni Jurij A. Gagarin repülő főhadnagy történelmi tettének emléke előtt [2]. – a Szerző megjegyzése.

¹² Vihar (or. „Буря”) – a Szerző megjegyzése.

¹³ Tű (or. „Игла”) – a Szerző megjegyzése

¹⁴ Hurrikán (or. „Ураган”) – a Szerző megjegyzése

¹⁵ Pilótanélküli Orbitális (pályán repülő) Rakétarepülőgép (or. „Безпилотный Орбитальный Ракетоплан”) – a Szerző megjegyzése.

¹⁶ Csillagháborús-program (ang. „Strategic Defence Initiative”) – a Szerző megjegyzése.

¹⁷ Oleg G. Makarov orosz űrhajós véleménye szerint a korai keresztelő nem jelentett szerencsét a szovjet űrrepülőgép jövőjére nézve [6] - a Szerző megjegyzése.



E döntés a helyességét az amerikai Challenger 1986. január 28-án bekövetkezett katasztrófáját vizsgáló Rogers-bizottság jelentésében leírtak¹⁸ is megerősítették. A szovjet mérnökök figyelme így – az űrrepülés során jelentkező különleges esetek, vészhelyzetek tudományos kiértékelését követően - a mentési elv fő irányvonalainak meghatározása, majd annak gyakorlati megvalósíthatósága felé fordult.

AZ ŰRREPÜLÉSI FELADAT SORÁN JELENTKEZŐ VÉSZHELYZETEK, KÜLÖNLEGES ESETEK

Alapvető kiindulásként el kell fogadnunk, hogy a repülés, így annak speciális változata, az űrrepülés is veszélyes üzem. Vészhelyzet a teljes űrrepülés szinte bármely repülési fázisban¹⁹ bekövetkezhet, amelyeket a következő fázisokra lehet bontani:

- 1) a hordozórakéta-űrhajó komplexum indítóasztalon állása, illetve a start;
- 2) az orbitális pályára történő emelkedés;
- 3) az orbitális pályán történő repülés;
- 4) az orbitális pályáról történő visszatérés;
- 5) az ejtőernyő és fékezőrakéta kombinált alkalmazásával történő leszállás.

Az űrrepülés fenti fázisaiban fellépő vészhelyzetek előfordulási esélyét és a repülési feladat további menetére történő kihatását súlyszámokkal jellemezhetjük. Ezt az űrrepülés történetében az adott vizsgálat elvégzésének pillanatáig bekövetkezett repülőesemények, különleges esetek statisztikai eszközökkel történő kiértékelésével, rangsorolásával lehet meghatározni.

Triviálisnak tűnhet a kijelentés, miszerint a repülőkatasztrófák során a haláleseteket nagy százalékban a talajhoz, domborzathoz stb. történő nagysebességű ütközés dinamikus ereje okozza. Ez alapján – a Föld felszínéhez való közelség miatt – elsősorban az 1), 2) illetve a 4) – a bolygó légkörének sűrűbb rétegeibe süllyedve, valamint az 5) jelenti a veszélyes fázisokat, azokon belül pedig az 1) és az 5) az, amely kiemelten veszélyes. Ez természetesen nem teszi szükségtelessé a repülési feladat többi fázisában jelentkező, egyéb, különféle extrém vészhelyzetekre²⁰ történő felkészülést, ami az ilyen szituációkra jó előre kidolgozott cselekvési sorrend végrehajtásának begyakorlását, a vészmentő berendezés készség szintű ismeretét feltételezi, ami szó szerint a túlélést jelent(het)i a személyzet tagjai részére!

¹⁸ A Challenger katasztrófáját vizsgáló bizottsági jelentés szerint az asztronauták a szilárd hajtóanyagú gyorsítórakéta (ang. „Solid Rocket Buster”) felrobbanását követően jó eséllyel még életben voltak [7], halálukat alapvetően a vízfelszínre történő becsapódás sokkhatása okozta. - a Szerző megjegyzése.

¹⁹ Az űrrepülés időtartamát, – a repülő-hajózó pályafutásom során ezerszer hallott mondat alapján - attól a pillanattól értelmezem, amikor a kozmonauták a repülés végrehajtásának szándékával az űreszköz fedélzetére lépve elfoglalják szolgálati/munkahelyeiket. Nem sorolom ide a hordozórakéta előkészítésének fázisát - pl. az üzemanyag-feltöltés veszélyes folyamatát a kiszolgáló műszaki állomány részéről -, amely során több, halálesetekkel is járó katasztrófa következett be, pl. 1960. október 24-én Bajkonurban. - Szerző megjegyzése.

²⁰ Noha bizonyos műszaki meghibásodások bekövetkeztének esélye a rendszerek redundanciája, többszörözése miatt a zérushoz konvergál, - ugyancsak abból a tényből kiindulva, hogy az űreszköz fedélzetén ember tartózkodik -, nem beszélhetünk arról, hogy egy bizonyos vészhelyzet bekövetkezése – a matematikai valószínűség-számításban alkalmazott kifejezés alapján – a lehetetlen eseménytérbe tartozna. – a Szerző megjegyzése.



MENTŐBERENDEZÉSEK A SZOVJET EMBERES ŪRREPÜLÉSBN

A(z űr)történelmi kezdetekről: a leszállórendszer és mentőrendszer kapcsolata

Fontosnak tartom kiemelni, hogy kezdetben a kozmikus eszközök- alapvetően ejtőernyős - leszállórendszereinek egyes elemei funkcionál(hat)tak tulajdonképpen mentőberendezésként is, amely azonban nem ad(hat)ott megnyugtató választ minden biztonságtechnikai kérdésre. Nem szabad elfelejtkezni arról, hogy „Az űrrepülés csak akkor lehet eredményes, ha a feladat végrehajtását követően az űrhajós épségben vissza is tér a Földre.”

Kevesek által ismert tény, hogy a „Főkonstruktor”, – Szergej P. Koroljov – az első generációs Vosztok²¹ űrhajó Földre történő visszatérésére eredetileg a vízfelszínre történő leszállást határozta meg [8], majd politikai döntés született a szárazföldre történő visszatérési mód mellett.

A későbbi emberes űrrepülések végrehajtására megalkotott második generációs „Voszhoz”²², majd a harmadik generációs „Szojuz”²³ űrhajó valamennyi modifikációja leszállórendszerének megtervezésénél is ez az elv érvényesült²⁴, így a személyzet biztonságos visszatéréseért minden esetben egy kombinált rendszer felelt. Amíg ez a Vosztoknál katapultülést és személyi ejtőernyőt jelentett a kozmonauta, illetve külön ejtőernyőrendszert a leszállóegység számára, addig a Voszhoz és a Szojuz-modifikációk esetében a katapultülés hiányzott, a többfőnyi személyzet a leszállóegységben ülve, teljesen automatikus üzemmódon működő, kombinált ejtőernyős-fékezőrakétás rendszer segítségével tért vissza a Földre. Ezek a berendezések a Szojuz-1 tragédiáját kivéve minden esetben biztosították a kozmonautá(k) többé-kevésbé sérülésmentes leszállását az alapvetően **tervezett** visszatérési folyamat során.

A mentőberendezés működésbe lépésére viszont alapvetően **előre nem tervezett**, váratlan helyzetekben kerül(het) sor, az űrrepülés bármely fázisában, sok esetben extrém körülmények között. Ekkor az egyedüli és legfontosabb cél nem lehet más, mint a személyzet megmentése.

Noha ez a rendszerelméleti tudományterület szempontjából teljesen különálló rendszerek kialakítását feltételezné, nem szabad elfelejtkezni a repülésben és űrrepülésben konstrukciós alapkritériumként szereplő könnyűépítés elvének²⁵ megvalósítására vonatkozó törekvésekről. Ez a leszállórendszerre, benne a vészmentő-rendszer létrehozására, kialakítására és a fedélzeten lehetséges elhelyezésére is vonatkozik²⁶. Mindez viszont nem zárja ki egy, a leszálló-rendszertől

²¹ Kelet (or. „Восток”) – a Szerző megjegyzése.

²² Napfelkelte (or. „Восход”) – a Szerző megjegyzése.

²³ Szövetség (or. „Союз”) – a Szerző megjegyzése.

²⁴ Az emberes űrrepülés elmúlt 53 éves története során egyetlen egy alkalommal fordult elő, hogy a szovjet/ orosz személyszállító űrhajó leszállóegysége vízfelszínre hajtotta végre a leszállást, mégpedig éjjel. A Szojuz-23 leszállóegysége Vjacseszlav V. Zudov repülő ezredes és Vitalij M. Zsolobov mk. alezredes kozmonautákkal a fedélzeten, ejtőernyőjével a Tengiz-tó jegére ereszkedett le 1976. október 26 –án. – a Szerző megjegyzése.

²⁵ **Könnnyűépítés elve** kimondja, hogy adott terhelés felvételére mindig a lehető legkönnyebb teherviselő szerkezetet kell kialakítani.

²⁶ Erre nagyon jó példa a Szojuz leszállóegység 574 m²-es kupolafelületű tartalék ejtőernyője, amely a vészmentő-rendszer ejtőernyőjének szerepét is betölti [9] az indítóállásban és az orbitális pályára állás kis magasságú fázisában bekövetkező vészhelyzet esetén. Miután az ún. mentőrakéta leválasztotta és biztonságos távolságba juttatta a hordozórakéta csúcsáról az űrhajót rejtő fokozatelemet, ez biztosítja a leszállóegység ejtőernyős földet érését. 1983. szeptember 26-án a Szojuz-T-10-1 hordozórakétájának az indítóállásban bekövetkezett [10] felrobbanásakor



teljesen független mentőrendszer létjogosultságát, tervezésének fontosságát. Erre elsőként a Szozjuznál található „kézzelfogható” bizonyítékot (lásd az 1. táblázatot „Az első, második és harmadik generációs, szovjet embert szállító úrhajókon alkalmazott, mentési funkcióra szolgáló leszállóberendezések és vészhelyzeti mentőberendezések” című alfejezetben!), az ún. „mentőtorony”-hoz kapcsolódóan leírtaknál!

A mentőrendszer meglétének szükségessége, alapvető tervezési kritériumai

Mentőberendezés esetében alapvető tervezési kritérium kell, hogy az - említett, előre nem tervezett - alkalmazás okán: adott helyzetben nemcsak a szárazföld, hanem vízfelszín fölött, az ürrepülési folyamat lehető legszélesebb spektrumában bekövetkező vészhelyzet esetén is, a lehető legmagasabb szinten biztosítsa a személyzet túlélését.

A fenti kijelentés azonban csak általánosságban fogalmazza meg mindazokat az elvárásokat, amelyeket technikailag jól meghatározott keretek közé kell szorítani.

A további lépések nagyon bonyolultak: még „hagyományos” repülőeszköz esetén is nehéz olyan mentőberendezést tervezni, amely „minden körülmények között” alkalmazható, ez személyszállító üreszközök esetén szinte lehetetlen feladat. Míg az előbbire az ún. „dupla nullás”²⁷ katapultrendszer és annak tartozéka, a speciális pilóta mentőejtőernyő az általánosan ismert, egyedüli megoldás, addig az utóbbira lehetetlen hasonló szerkezetet, berendezést tervezni. Ezt elsősorban nemcsak az ún. „társadalmi határérték”²⁸ magas összege, hanem a feladat végrehajtásának eltérő környezeti tulajdonságai teszi kivitelezhetetlenné.

Ennek megfelelően az adott személyszállító üreszköz fedélzetén vagy több, egymástól alapvetően kialakításában eltérő, az ürrepülés adott fázisában, adott körülmények között, egymástól függetlenül működtethető vészmentő-berendezés(ek)e)t kell rendszerbe állítani, vagy egyetlen egy olyan, esetlegesen kombinált berendezést, amely a repülés több fázisában is alkalmazható, ha szükség van rá.

A mentőrendszer tervezését befolyásoló tényezők

Az ürrepülő eszköz szerkezete, repülési tulajdonságai döntő módon befolyásolják a mentőberendezés alapvető kialakítását, működési jellemzőit, amely alapos vizsgálatot igényel!

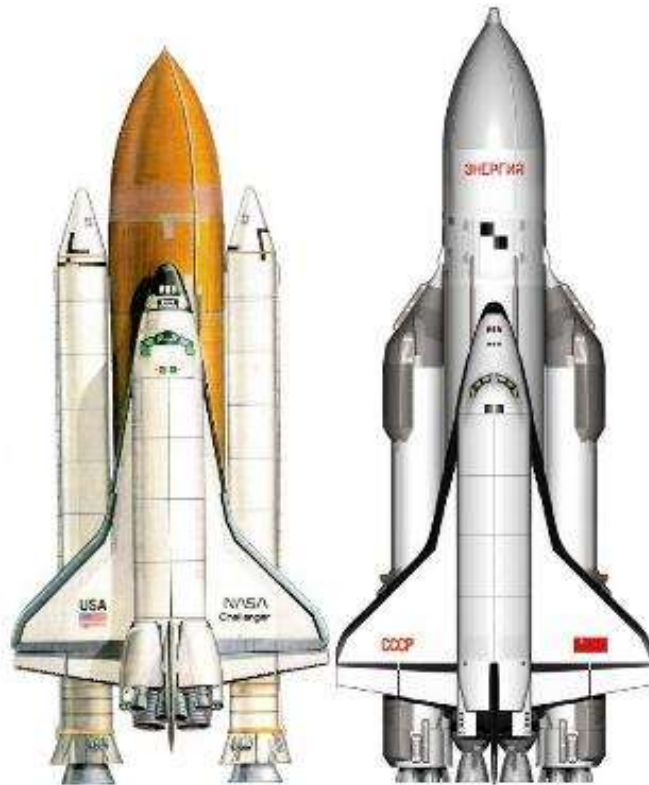
A 4. generációs, ürrepülő eszköz, a szovjet, embereket is szállító ürrepülőgép szerkezete

ez mentette meg Vlagyimir G. Tyitov ezredes és Gennagyij. M. Sztrekalov életét. Utóbbival volt szerencsém személyesen is találkozni Budapesten, 1999-ben. – a Szerző megjegyzése.

²⁷ A kifejezés azt jelenti, hogy a katapultulás „0” m-es repülési magasságról, „0” km/h-s haladási sebességnél – vagyis a repülőtéren álló repülőgépből – működtetve is biztosítja a személyi mentőejtőernyő belobbanásához szükséges magassági és sebességi feltételeket. – a Szerző megjegyzése.

²⁸ A biztonságtechnika tudományterületén belül alkalmazott szakkifejezés, amely azt fejezi ki, hogy egy adott ország társadalmi mekkora összeget „hajlandó” áldozni biztonsági rendszerekkel kapcsolatos kutatásokra és fejlesztésekre [11]. Amennyiben az üreszközben emberek is utaznak, a „viszonylag megbízható” minősítés már nem szabad, hogy elegendő legyen. A következő, a 100%-osan megbízható fokozat elérése viszont jelentős technológiai és pénzügyi ugrást jelent! – a Szerző megjegyzése.

Mivel a 4. generációs szovjet személyszállító kozmikus eszközt – az akkor már több űrrepülést végrehajtott Space Shuttle-flotta tagjainak felépítéséhez rendkívüli módon hasonló (1. ábra) – repülőgépszerű sárkányszerkezettel kívánták megépíteni, ez alapvető módon határozta meg nemcsak a teljes visszatérési fázist, hanem a repülőgépszerű leszállási manőver végrehajtását is. Ennek révén döntő módon befolyásolta az esetleges vészhelyzet bekövetkezése esetén alkalmazható mentőberendezések alkalmazhatóságát, azok szerkezeti kialakítását is.



1. ábra A Space Shuttle és a Buran elhelyezésének összehasonlítása a rakétákon, illetve az üzemanyagtartályon ²⁹

A szovjet űrrepülőgéphez tehát olyan mentőberendezést kívántak tervezni, amely nemcsak a repülőgépként történő földet érés teljes fázisában –, vagyis a bejöveteli eljárástól kezdve az fékernyővel támogatott fékezés, gurulás és megállás során – teszi lehetővé a légi jármű gyors és biztonságos elhagyását, hanem olyat, amely ezek mellett az indítóállásban és az orbitális pályára emelkedéskor bekövetkező katasztrófahelyzetnél is biztonsággal alkalmazható.

Vizsgáljuk meg először azt, hogy az adott fázisokban – a(z ű)repülésre veszélyes szituációk, különleges esetek bekövetkezése esetén – az első, második és harmadik generációs, „hagyományos építésű” személyszállító szovjet űrhajókon milyen módon, milyen berendezéssel oldották (volna) meg a személyzet mentését!

Az első, második és harmadik generációs, szovjet embert szállító űrhajókon alkalmazott, mentési funkcióra szolgáló leszálló-berendezések és vészhelyzeti mentőberendezések

²⁹ Forrás: A Szerző gyűjteményéből.

A Vosztok, Voszhod és Szojuz űrhajók mentőberendezései (1. táblázat) – a teljes űreszköz-komplexum alapvető szerkezeti kialakításának különbözősége miatt -, „csak” mint kiindulási alap jelenthettek segítséget a negyedik generációs szovjet űrhajó mentőberendezését megtervező szakemberek számára. Természetesen már ez is sokat jelentett, ugyanis ezek a berendezések az 1980'-as évek közepére már több esetben bizonyították létjogosultságukat³⁰ a korábbi, ember vezette űreszköz-típusok fedélzetén.

Bekövetkező repülésre veszélyes helyzet		Űrhajó generáció		
		Vosztok	Voszhod	Szojuz
1. fázis	a hordozórakéta-űrhajó komplexum indítóasztalon állása, illetve a start fázisában	katapultülés, személyi mentőejtőernyő	-	<i>mentőtorny</i>
2. fázis	az orbitális pályára történő emelkedés fázisában	katapultülés, személyi mentőejtőernyő*	-	<i>mentőtorny</i>
3. fázis	az orbitális pályán történő „repülés” fázisában	-	-	egy másik űrhajó segítségével, űrrandevút és összekapcsolódást követően
4. fázis	az orbitális pályáról történő visszatérés fázisában	-	-	-
5. fázis	az ejtőernyős-fékező-rakétás kombinált leszállás végrehajtásának fázisában	katapultülés, személyi mentőejtőernyő	kettős, fő- és tartalék-ejtőernyőből álló ejtőernyőrendszer	külön, fő- és tartalék-ejtőernyőből álló ejtőernyőrendszerek

*: korlátozott alkalmazhatóság!

1. táblázat A Vosztok, Voszhod és Szojuz űrhajókon alkalmazott mentési funkcióra is szolgáló leszállóberendezések, valamint valódi mentőberendezések³¹

Jól megfigyelhető a katapultülés és a személyi mentőejtőernyő – mint egyéni mentőberendezés – a Vosztok, valamint a mentőrakéta alkalmazása – mint (már) kollektív mentőberendezés – a Szojuz esetében. Az előbbi berendezés alkalmazhatósága – alapvetően – ejtőernyős előképzettség meglétének szükségességét [12] feltételezi, de ez a szovjet (orosz) kozmonauták kiképzésének mindig is része volt³².

³⁰ Különleges repülőeszköztől lévén szó, a(z űr)repülésre veszélyes helyzet fogalma alatt alapvetően azonnali cselekvést szükségessé tevő különleges eseteket értek. Az 1. táblázatban szereplő mentőeszközök egy része, pl. a mentőrakéta – ahogy az előzőekben már említettem –, „éles helyzet”-ben is alkalmazásra is került. – a Szerző megjegyzése.

³¹ A táblázatban kiemelt, dőlt betűvel csak a ténylegesen is mentőberendezésnek tervezett eszközöket jelöltem meg. Látható, hogy meglehetősen szűk alkalmazhatósági tartománnyal rendelkeztek. – a Szerző megjegyzése.

³² Az amerikai Space Shuttle-flotta tagjainak „nyugdíjba vonulását”-t követően ismételtlen egyedül a 3. generációjú Szojuz már TMA modifikációja az egyetlen űreszköz, amely képes embert feljuttatni a Nemzetközi Űrállomásra és visszahozni a Földre. A mentőtornyos kollektív mentőberendezés mellett az ejtőernyős kiképzés még napjainkban is fontos elemét képezi az orosz űrhajósok felkészítésének. – a Szerző megjegyzése.



A kollektív mentőberendezésre történő átállás alapvetően nem a kozmonauták kiképzési tematikájának nagymértékű módosításával, hanem a Voszhod leszállóegység Vosztokénál nem nagyobb belső terével magyarázható: a többfőnyi személyzet részére egyszerűen nem volt hely katapultülések elhelyezésére. Így a Szojuz kialakításánál már a kollektív mentőberendezés alkalmazhatóságának biztosítását tűzték ki alapvető tervezési célul.

Az viszont szembetűnő tény, hogy az ejtőernyő továbbra is az egyik legfontosabb – egyben nélkülözhetetlen – eleme maradt a kozmikus eszköz mentőberendezésének. Ez kiemelt szerepet játszott a szovjet űrrepülőgép mentőberendezésének tervezési folyamatában is.

MENTŐBERENDEZÉS A SZOVJET ŰRREPÜLŐGÉP FEDÉLZETÉN

A(z űr)történelmi kezdetekről: az ejtőernyő és mentőrendszer kapcsolata

Mivel az emberek részvételével folyó űrprogramokban egyre bonyolultabb feladatokat valósítottak meg, ez egyre fejlettebb űrjárművek kialakítását követelte meg, amely a visszatéréskor – mind a leszállóegységből katapultált Vosztok-kozmonauta személyi ejtőernyői tekintetében, mind a Vosztok, a Voszhod, majd a Szojuz-modifikációk leszállóegysége fő- és tartalék ejtőernyőrendszerei vonatkozásában – is döntő jelentőséggel bírt. Ez lehetőséget adott az ejtőernyős mentőberendezések folyamatos fejlesztésére, mind a hagyományos, mind a kozmikus légijárművek vonatkozásában.

Az ejtőernyő-technika kutatási-fejlesztési munkálatai a Szovjetunióban

Az ejtőernyőzés, mint valódi nemzeti sportág szerepének megteremtése, valamint az első légi- és ejtőernyős deszant egységek és magasabb-egységek létrehozása nagyban elősegítette az ejtőernyő-technológiával foglalkozó kutatás-fejlesztést, amely szervezett és centralizált formában is a Szovjetunióban indult el. Az 1928-ban megalapított VVSzNII³³-ben az ejtőernyős-deszant technika kidolgozására külön részleget hoztak létre [13], amely később önálló irodaként működött. Az 1950-es évek végétől - a tervgazdálkodás jegyében - az Állami Bizottság elsősorban a moszkvai IAU³⁴-ra bízta³⁵ a katonai- és sport ejtőernyők tervezésével kapcsolatos feladatok megoldását, amelynek munkáját évekkel később a NIIAU³⁶ vette át. Az intézet –ejtőernyő-technika fellegváraként - még napjainkban is nagy sikerrel folytatja munkáját [14].

Ezek alapján kijelenthető, hogy a Buran űrrepülőgéppel kapcsolatos egyéb feladatokat ellátó ejtőernyők³⁷ tervezése és tesztelése „jó kezekbe került”.

³³ Katonai Légierő Tudományos Kutató Intézete (or. „Военно-Воздушные Силы Научно-Исследовательский Институт”) – a Szerző megjegyzése.

³⁴ Automatikus Berendezések Intézete (or. „Институт Автоматических Устройств”). – a Szerző megjegyzése.

³⁵ A tervgazdálkodást folytató Szovjetunióétól óriási eltérést mutat(ott) az Amerikai Egyesült Államokban - napjainkban is - alkalmazott kutatási gyakorlat: a különféle „kozmosz” problémák technikai megoldására pályázatokat kiírva versenyeztetik az űr- és repülőipari cégeket. – a Szerző megjegyzése.

³⁶ Ejtőernyő Kísérleti Kutató Intézet (or. „Научно-Исследовательский Институт Автоматических Устройств”). Az intézet elnevezése jelenleg Ejtőernyő-készítési NII. – a Szerző megjegyzése.

³⁷ Mivel a Buran repülőgépként szállt le, így fékező ejtőernyő(k)re is szükség volt. Emellett a katapultülés levegőben való stabilizálásához egyéb speciális ejtőernyő(ke)t kellett megalkotni. Ezzel kapcsolatosan lásd a „A K-36

A katapultülés kiválasztása

A katapultüléssel kapcsolatos kutatás-fejlesztés területén is hasonló volt a helyzet. A második világháborút követően az egyre nagyobb sebességű gázturbinás hajtóművekkel történő repülés korszaka ezen a területen szinte egyeduralgódóvá tette a katapultülést, amellyel kapcsolatosan a Szovjetunió is komoly kutatásokba kezdett. A szuperszonikus repülés megjelenésével a katonai kutatóintézetekben – az ejtőernyőkhöz hasonlóan – különböző, már hangsebesség felett is biztonságosan alkalmazható, egyre korszerűbb katapultülések fejlesztettek ki.

Ennek megfelelően nem csodálkozhatunk azon, hogy a tervezés alatt álló, már repülőgép kialakítású űrhajó vészmentő berendezései közé a személyzettagok egyéni mentőberendezéseként – és nem a leszállórendszer egyik fontos elemeként (!) – a katapultülés alkalmazását előkelő helyre sorolták. Mivel a világűr meghódítása, az űrtechnológia megalkotása még egy világhatalom költségvetését is súlyosan megterheli, felvetődött egy olyan katapultülés-típus üreszközre történő adaptálásának ötlete, amely a „hagyományos”, nagysebességű katonai repülés területén már bizonyította széleskörű alkalmazhatóságát

Noha jelen tanulmányban nem kívánom a szovjet katapultülések kutatási-innovációs történetét teljesen áttekinteni, az 1960'-as évek végére a moszkvai „Zvezda”³⁸ elnevezésű üzem mérnök-kollektívája, Gaj I. Szeverin főkonstruktor vezetésével megalkotta a K-36 típusú katapultülést [15], amely az eltelt több mint négy és fél évtized alatt világszerte ismertté vált. Az ülés – több modifikációban gyártva – számos katonai repülőgéptípus fedélzeti mentőberendezését jelentette³⁹, így egyértelmű volt, hogy érdemes komolyan megvizsgálni egy repülőgép-típusú üreszközön történő alkalmazhatóságának lehetőségeit és korlátait.

Nem szabad azonban elfelejtkezni arról, hogy a katapultülés „csak” egy – de nagyon fontos elemét – jelenti az egyéni fedélzeti mentőrendszernek. Az ülésben elhelyezett további berendezések összessége: a légijármű személyzeti mentőejtőernyő, az ún. „NAZ”⁴⁰-készlet, esetlegesen mentőcsónak stb., az egységes rendszer fontosságát hangsúlyozza ki. Ezek csakis együttesen biztosíthatják az őket alkalmazó személy túlélését.

A K-36 típusú katapultülés „hagyományos” és „forradalmi” technikai megoldásai

A típus szerkezeti kialakítása (2. ábra) kiküszöbölte a megelőző típusra – SzK-1, KM-1 stb. – jellemző stabilizációs problémákat.

A kettős katapultvezérlő-fogantyúk manuális működtetését követően a katapultülés beépített mechanizmusai mindenről automatikusan gondoskodnak, beleértve az ún. „katapultáláshoz szükséges testhelyzet” felvételét is. A katapultülés öv és a váll-részén található hevederek megfeszítése és rögzítése biztosítja a gerincoszlop megfelelő helyzetét, amelyet a lábemelő berendezés elmozdulása segít elő. A felső és az alsó végtagok szétcsapódását kartámaszok, valamint

típusú katapultülés „hagyományos” és „forradalmi” technikai megoldásai”, valamint a „A „kozmosz” K-36-modifikáció űrrepülése” című alfejezetben leírtakat! – a Szerző megjegyzése.

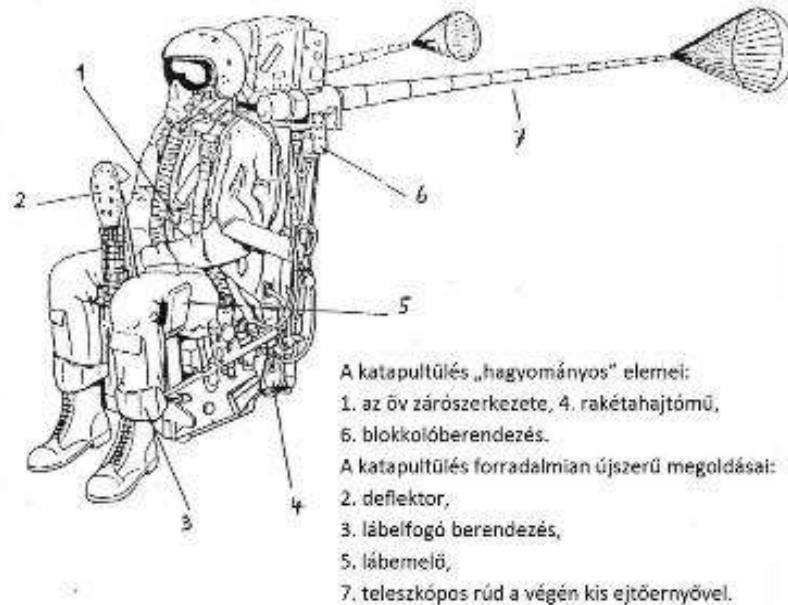
³⁸ Csillag (or. „Звезда”) – a Szerző megjegyzése.

³⁹ A K-36 típus modifikációi – többek között – a Jak-38, SzU-7, SzU-17, Szu-22, SzU-25, MiG-25, MiG-27, MiG-29 stb. típusok fedélzetén számos katonai pilóta életét mentették meg. – a Szerző megjegyzése.

⁴⁰ (Fedélzeti) Hordozható Mentő Készlet (or. „Носимый Аварийный Запас”) – a Szerző megjegyzése.

lábelfogó berendezés akadályozza meg, illetve gondoskodik azok rögzítéséről az ún. „katapultülés-pilóta komplexum” mozgását gyorsító rakétahajtóművek működése idején.

A katapultülés repülőgép fülkéjéből történő kirepülését követően a hátul, két oldalt elhelyezett teleszkópkarok azonnal kivágódnak a helyükről (3. ábra), és a több mint 2 m hosszú rudak végén elhelyezett kisméretű segéd-ejtőernyők stabilizálják az ülés és a benne ülő kezdeti, együttes zuhanását.



2. ábra A K-36 típusú ülés szerkezeti felépítése már önmagában is hordozott forradalmian új megoldásokat a katapultálás biztonságos végrehajthatósága szempontjából⁴¹

A katapultülés-pilóta komplexum keresztengely körüli forgásának megakadályozására a konstruktőrök az SZP-36 típusú, máltai kereszt alakú kis stabilizáló ejtőernyőt (4. ábra) fejlesztették ki, amely speciális kialakításával – nagy repülési sebességen történő levegőáramba kerülés esetén is – biztosítja a hatásos fékezést is. A stabilizáló ejtőernyőt a teleszkópos rudak végén forgó csapszeggel rögzítik, az ejtőernyőzsinórok összecsavarodás elleni védelmének, valamint az ejtőernyő kupolájának nyitására.

⁴¹ Forrás: A pilóta biztonságát szolgálja a katapultülés. TOP GUN, Budapest, 1992/7. pp. 36.



3. ábra A teleszkópos rudak kivágódása és a stabilizáló ejtőernyők légáramlatba kerülése a fülke elhagyása után⁴²



4. ábra SzP-36 típusú stabilizáló ejtőernyő⁴³ (A képen jól megfigyelhető a máltai kereszt-kialakítás, és a középszinórok alkalmazása.)

Az ülés megindulását követően felemelkedő speciális áramlásterelő lap (az ún. deflektor) biztosítja a pilóta arcának a levegő torlónyomása elleni védelmét, kiegészítve a repülési feladat végrehajtása során kötelezően viselt - a színszűrő lecsapódását követően közel zárt egységet alkotó – ZS⁴⁴-5A, illetve ZS-7 típusú védősisak és KM⁴⁵-34 típusú oxigénálarc együttesével⁴⁶.

A katapultülésbe rejtett pilóta mentőejtőernyő technikai paraméterei

Mivel nemcsak a katapultülés, hanem a pilóta mentőejtőernyő-típus is széles magasság és sebességtartományban kell ellássa feladatát, szerkezeti kialakítása ismét jó bizonyíték a tervezőmérnökök teljesítményére.

A PSzU-36 típusú pilóta mentőejtőernyő

A pilóta mentőejtőernyő belobbanási és ejtőernyős ereszkedési tulajdonságait (2. táblázat) kupolakialakítása (5. ábra), zsinórzatának és a felszakadó-hevedereinek hossza határozza meg alapvetően, az ejtőernyő-hevederzet kialakítása a kupola belobbanásakor (6. ábra) fellépő terhelés ugró testére ható terhelése egyenletes elosztása szempontjából fontos.

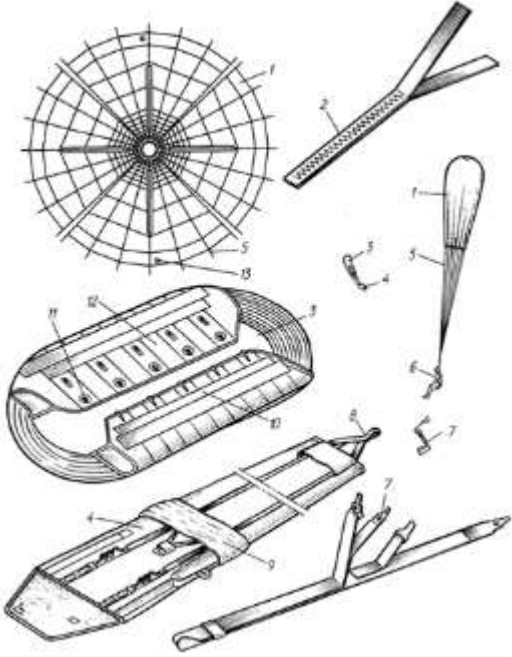
⁴² Forrás: A Szerző ejtőernyős fényképgyűjteményéből, Kastély Sándor jóvoltából.

⁴³ Forrás: A Szerző ejtőernyős gyűjteményéből, saját felvétel.

⁴⁴ Védősisak (or. „Защитный Шлем”) – a Szerző megjegyzése.

⁴⁵ Oxigénálarc (or. „Кислородный Маск”) – a Szerző megjegyzése.

⁴⁶ Külön a Buran kozmonautái számára tervezett, teljes hermetizációt biztosító szkafander (lásd: 8 ábra!) a Sarlósfecske (or. „Стрижь”) nevet kapta. Az öltözet az életfeltételek - hőmérséklet, páratartalom stb. – mellett a katapultálást követő levegőáramlat torlónyomása elleni védelmet is biztosította volna. – a Szerző megjegyzése.



5. ábra PSzU-36 típusú pilóta mentőejtőernyő fő szerkezeti elemeinek vázlata⁴⁷

1 – kupolaszelet, 2 – leválasztó elem, 3 – kupolahuzat, 4 – tok, 5 – ejtőernyőzsinór, 6 – pilóta, 7 - katasztulés, illetve biztosító tűk, 8 – fülecs, 9 – zsinórbiztosító fedőlap, 10 – hurokheveder, 11 - kapcsolószem, 12 – borítólapp, 13 – gyári jelzés



6. ábra PSzU-36 típusú pilóta mentőejtőernyő alkalmazása a valóságban⁴⁸

A képen jól beazonosítható a katasztulást követően bekövetkező fontos mozzanat: a pilóta eltávolodása az ülésétől a levegőben, valamint a pilóta mentőejtőernyő belobbanási folyamatának kezdete

Felülete [m ²]:	60
Zsinórszám [db]:	28
Zsinórhossz [m]:	6
Merülősebesség [m/s]:	6
Névleges terhelés [kg]:	100
Minimális belobbanási magasság [m]:	80
Maximális nyitási magasság [m]:	12000
Maximális nyitási sebesség [km/h]:	650 (1100)
Ejtőernyőrendszer tömege [kg]:	10,7±0.2

2. táblázat A PSzU-36 típusú pilóta mentőejtőernyő tulajdonságai⁴⁹

Az ejtőernyő kupolája

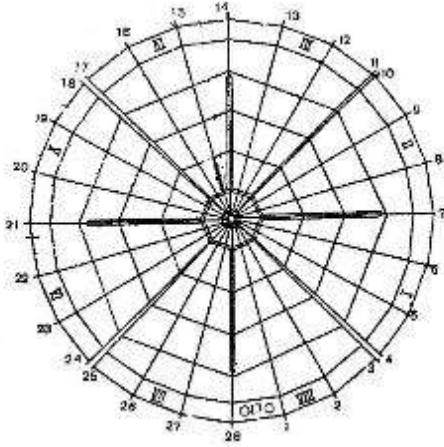
A PSzU-36 típusú pilóta mentőejtőernyő 60 m²-es alapfelületű kupolája tökéletesen megegyezik az Sz-5K típuséval (lásd: 7. ábra), melynek belépőélétől a 3–4, 10–11, 17–18 és 24–25. számú ejtőernyőzsinórok között található 4 db rés. Ezenkívül a 7, 14, 21 és 28. számú ejtőernyőzsinórok esetén a 2. cikktől induló, ugyancsak 4 db rés [16] külön jelentőséggel bír. A ku-

⁴⁷ Forrás: АГРОНИК А. Г., ЭГЕНБУРГ Л. И. Развитие авиационных средств спасения. Издательство Машиностроение, Москва, 1990. pp. 33.

⁴⁸ Forrás: A Szerző ejtőernyős fényképgyűjteményéből.

⁴⁹ A zárójelben feltüntetett érték az Sz-5K típusra vonatkozik. – a Szerző megjegyzése.

pola anyagminősége mellett ez a speciális kupolakialakítás konstrukciósan biztosítja – az esetlegesen nagy repülési (és egyben az ejtőernyők kezdeti nyitási) sebessége esetén – a kupola nagy belobbanási terheléssel szembeni védelmét.



7. ábra PSzU-36 – és egyben Sz-5K - típusú pilóta mentőejtőernyő kupolájának általános szerkezeti vázlata⁵⁰



8. ábra IPSz-72 típusú hevederzet egy K-36 típusú katapultülésben ülő „Sarlósfecske” szakfandert viselő bábún, egy moszkvai kiállításon⁵¹

Az ejtőernyő zsinórzata és felszakadó hevederei

A 6 m hosszú, egyenként 1962 N-os (200 kg-os) szakítószilárdságú SKP-200 típusú, gyulladásmérsen anyaggal átítatott kapronból készült, elemi szálakból álló ejtőernyőzsinórok kötik össze az ejtőernyőkupola belépő élét a felfüggesztő rendszerrel [18]. A szovjet pilóta mentőejtőernyőkre jellemző –, a PSzU-36-nál 135 cm-es (!) - hosszúságú felszakadó hevederek OSzK-2 típusú leoldózárok⁵² segítségével kapcsolódnak az ejtőernyő hevederzetéhez.

Az ejtőernyő hevederzete

A mentőejtőernyőt IPSz-72 típusú hevederzet (8. ábra) rögzíti a pilótához.

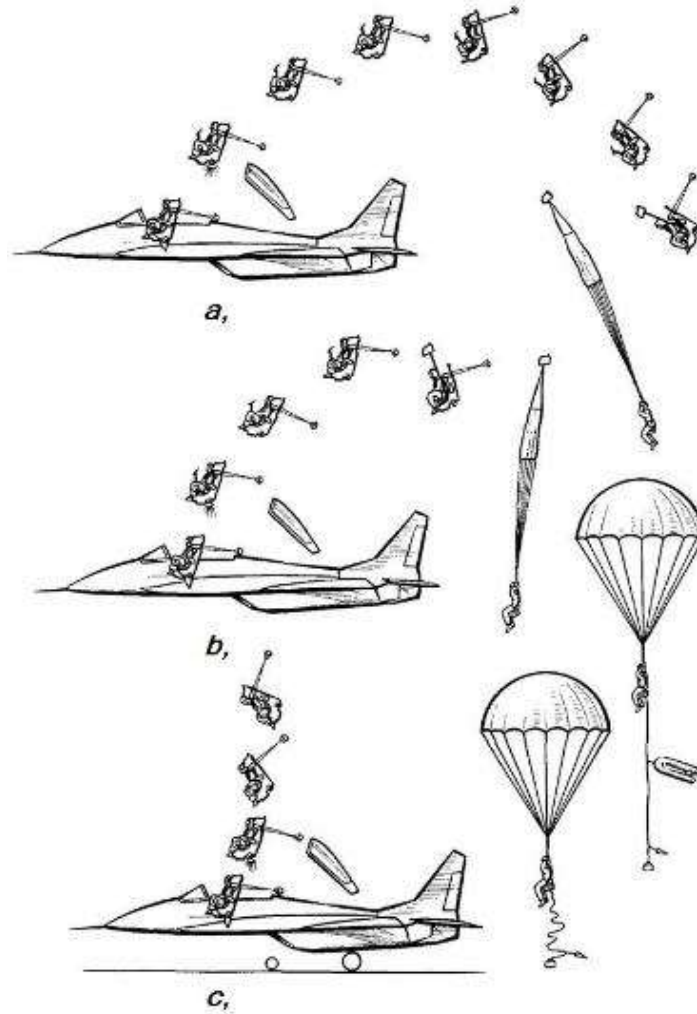
A K-36 típusú katapultülés működési folyamata

A folyamatos módosításon átmenő katapultülés működése is egyre kifinomultabb lett, a 9. ábra már a K-36DM típus három különböző működési üzemmódját szemlélteti.

⁵⁰ Forrás: SIMON LÁSZLÓ: Mentő és tartalékejtőernyők beugrásának tapasztalatai. Ejtőernyős tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ, Budapest 1980/3. pp. 18.

⁵¹ Forrás: A Szerző ejtőernyős gyűjteményéből. A szakfander a légi jármű kihermetizálódása, vagy ejtőernyős ugrás (katapultálás) végrehajtása esetén 40000 m-es magasságig [17] biztosította (volna) az életfeltételeket.

⁵² A leoldózárok a földet érést követően, az ún. „kutyázás” nevű jelenség elkerülése céljából érdemes használni. Ezzel elkerülhetővé válik, hogy a talajmenti szél által belobbantott kupola magával ragadja utasát, aki a földön vonszolódva, kutya galoppozására emlékeztető ugrabugráló mozdulatokkal próbálja utolérni az őt vonszoló anyagfelületet. – a Szerző megjegyzése.



- a) $H_{\text{rep}} > 5000\text{--}6000$, $v_{\text{rep}} > 800\text{--}900$ km/h
 b) $H_{\text{rep}} < 5000\text{--}6000$, $v_{\text{rep}} < 800\text{--}900$ km/h
 c) az előzőeknél kisebb magasság és sebesség értékek esetén

9. ábra MiG-29-es típusú repülőgépen rendszeresített K-36DM típusú katapultülés működési folyamata⁵³

A stabilizáló ejtőernyők 5000 m-es tengerszinthez viszonyított barometrikus nyomásnak megfelelő magasságig gondoskodnak a katapultülés és a benne ülő pilóta stabilizálásáról. Ezt követően az automata rendszer kilövi a katapultülés fejtámaszát, továbbá ugyanekkor elnyíródnak a derék- és a vállhevederek, amelyek az ejtőernyő felfüggesztő rendszeren (az ejtőernyő hevederen) keresztül magát a pilótát rögzítették az üléshez. A kilövés eredményeként a fejtámasz - a benne elhelyezett ejtőernyőkupolával együtt – eltávolodik a pilótától a levegőben, ezzel együtt nyílik a kupolát magába záró huzatot rejtő tok, amelyből az ejtőernyőkupola kijut a légáramlatba. Az ejtőernyőzsinóroknak a huzat fülecseiből történő lefűződését követően a tok lehúződik a kupoláról, amely levegővel történő telítődését követően belobban [19], biztosítva a pilóta részére az ejtőernyővel történő, biztonságos ereszkedést és földet érést.

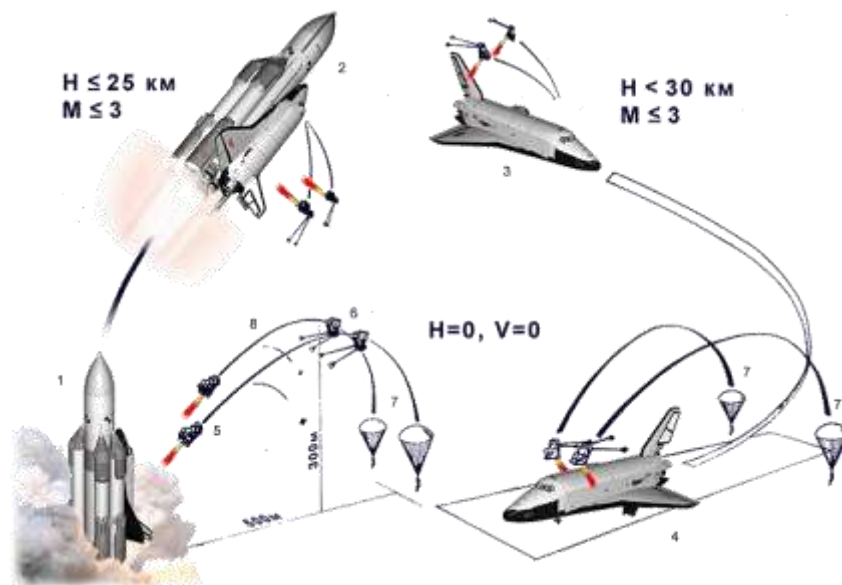
Mivel a katapultülés egyre kiforrottabb modifikációi egyre megbízhatóbban működtek, nem volt akadálya megkezdeni a kifejezetten az ürrepülési feladathoz készülő ülés kifejlesztésének

⁵³ Forrás: АГРОНИК А. Г., ЭГЕНБУРГ Л. И. Развитие авиационных средств спасения. Издательство Машиностроение, Москва, 1990. pp. 154.

munkálatait, valamint a készülő szovjet űrrepülőgépet – alapvetően annak sárkányszerkezetét - a katapultüléshez „igazítani”⁵⁴.

A K-36 típusú katapultülés űrrepülési feladatra módosított változata

A K-36 típusú katapultülés Buran fedélzetére tervezett modifikációját Gaj I. Szeverin főkonstruktor úgy körvonalazta, hogy a módosított, ~6300 N tolóerejű [20] rakétahajtóműve már 300 m-es magasságra [21] „lőjje fel” a katapultülés-pilóta komplexumot a kilövőállványon bekövetkező vészhelyzetek esetén. Továbbá az alkalmazhatósági tartománya az orbitális pályára történő kezdeti emelkedés szakaszában 25000 m-es, míg a repülőgépszerű leszállás során 30000 m-es magassághatárig, illetve 3,0 Mach-értékig tolódjon ki (10. ábra).



H – magasság [km], v – repülési sebesség [Mach-szám], 1 – a Buran-hordozórakéta komplexum az indítóálláson, 2 – a Buran-hordozórakéta komplexum az orbitális pályára emelkedéskor, 3 – a Buran a visszatéréskor, 4 – a Buran a leszállás fázisában, 5 – a katapultülés gyorsulási szakasza, 6 – a katapultülés stabilizált repülése, 7 – a pilóta mentőejtőernyők működésbe lépése, 8 – a katapultülés mozgási pályagörbéje
10. ábra A Buran fedélzetére tervezett, már „kozmosz” K-36-modifikáció tervezett alkalmazhatósági vázlat⁵⁵

A „kozmosz” K-36-modifikáció gyakorlati tesztelése

A tervezettek szerint legyártott, már „kozmosz” körülményekre tervezett K-36 modifikációval földi rakétapadon kezdték meg a gyakorlati teszteket. A szán kialakítása az űrrepülőgép orr-részét mintázta (11. ábra), a kozmonautát beöltöztetett bábú (12. ábra) helyettesítette.

⁵⁴ Az ejtőernyő és a repülőgép repüléstechnikai jellemzői meg kell, hogy feleljenek! – a Szerző megjegyzése.

⁵⁵ Forrás: url: <http://buran-energia.com/bourane-secu-sieges.php> (2015.03.11.).



11. ábra A földi katapultpróbákat végrehajtó rakétaszán, amely a Buran pilótafülkéje alakját formázza⁵⁶



12. ábra A gyakorlati katapultkísérletekben részt vevő, már a Sarlósfecske-szkafandert viselő bábú, az egyik katapultálását követően⁵⁷

A sikeres földi tesztekkel légi tesztek követték, speciálisan a kísérleti katapultkísérletekhez átalakított MiG-25RU típusú repülőgép (13. ábra) segítségével [22]. Az ehhez szükséges technikai háttérrel a Gromovról elnevezett LIJ⁵⁸ biztosította.



13. ábra Légi kísérleti katapultálás, már a „kozmosz” katapultüléssel végrehajtva⁵⁹

A sikeres földi és légi tesztekkel követően a K-36 már „kozmosz” feladatokra tervezett modifikációját⁶⁰ beépítették a Buran pilótafülkéjének felső szintjére (lásd: 17. ábra!).

⁵⁶ Forrás: url: <http://www.buran-energia.com/bourane-buran/bourane-secu-sieges.php> (2015.03.11.)

⁵⁷ Forrás: url: <http://www.buran-energia.com/bourane-buran/bourane-secu-sieges.php> (2015.03.11.)

⁵⁸ Gromovról elnevezett Repülő Kísérleti Kutató Intézet (or. „Летательно-Исследовательский Институт имени Громова”) – a Szerző megjegyzése.

⁵⁹ Forrás: A Szerző ejtőernyős gyűjteményéből.

⁶⁰ Nem egyértelmű, hogy a „kozmosz” katapultülés-modifikáció milyen típusjelzést is kapott tulajdonképpen. Egyes források a K-36M-11F35 [23], mások a K-36RB típusjelzést [24] használják. – a Szerző megjegyzése.

A „kozmosz” K-36-modifikáció beépítése az űrrepülőgépbe

A katapultülés űrrepülőgépbe történő beépítése sem jelentett problémát (14. és 15. ábra).

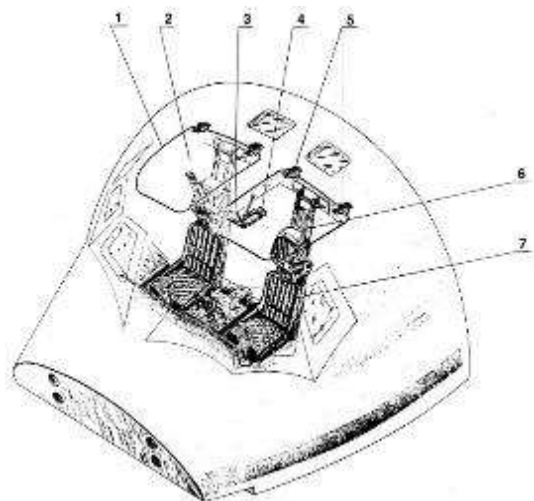


14. ábra A „kozmosz” K-36 modifikáció a Buran pilótafülkéjében⁶¹



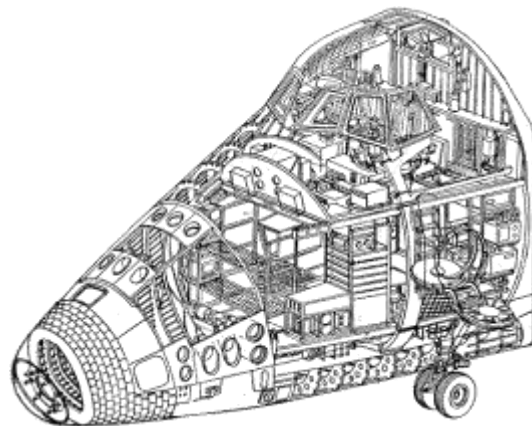
15. ábra A „kozmosz” K-36 modifikáció a Buran pilótafülkéjében⁶²

Vészhelyzet esetén pilótafülke tetején kialakított nyílásokon keresztül (16. ábra) hajthatta volna végre a berepülést végző kétfős személyzet a katapultálást.



1 – pilótafülke, 2 – ledobható nyílásfedő, 3 – katapultálás-vezérlőkar, 4 – támasz, 5 – zsanérok, 6 – ülésvezető-sín, 7 – katapultülés

16. ábra A Buran pilótafülke-tető kialakítása⁶³



17. ábra A Buran orr-részének szerkezeti kialakítása⁶⁴

⁶¹ Forrás: url: <http://militaryphotos.net> (2015.03.11.).

⁶² Forrás: A Szerző ejtőernyős fényképgyűjteményéből.

⁶³ Forrás: url: <http://militaryphotos.net> (2015.03.11.).

⁶⁴ Forrás: A Szerző ejtőernyős fényképgyűjteményéből.

A „kozmosz” K-36-modifikáció űrrepülése

A Buran űrrepülőgép egyetlen (!) 3 óra 25 perces, teljesen automata üzemmódon, személyzet nélküli űrrepülést hajtott végre 1988. november 15-én, a már jóváhagyott katapultülésekkel a fedélzetén, amely teljes sikerrel zárult. A Bajkonur Kozmodrom⁶⁵ leszállópálya betonjára 310–340 km/h sebességgel érkező űrrepülőgép lefékezéséről – az IAU által kifejlesztett – kereszt alakú fékezőernyőkből álló fűzér⁶⁶ gondoskodott.

A szovjet űrrepülőgép-program további sorsa

Noha már évekkel korábban megkezdődött a Buran űrrepülőgép jövőbeni személyzetét alkotó csoport tagjainak kiképzése, a sikeres személyzet nélküli űrrepülés végül nem lett megkoronázva sikeres emberes űrrepüléssel. A politikai és gazdasági problémák jelentkezésekor 1989-ben először „csak” a kísérletek félbeszakításáról, ám 1993. június 30-án [26] – a súlyos gazdasági problémákra hivatkozva – már az űrrepülőgép-program leállításáról született döntés.

A MENTŐBERENDEZÉS TOVÁBBI SORSA

A szovjet űrrepülő fedélzetén űrrepülésben ugyan részt vett, de „éles helyzetben” végül soha nem alkalmazott K-36 típusú katapultülés fejlesztési munkálatai a továbbiakban is folytatódtak. Hírek szerint – vélhetően továbbra is kozmosz feladattal kapcsolatban – az ülés RB jelzéssel ellátott modifikációját többek között 4,1 Mach-értéknek megfelelő sebességnél is kipróbálták, rakétákból kivette [27]

Meg nem válaszolt űrrepülés-biztonsági kérdések

A valódi személyzettel végrehajtott berepülést követően később vélhetően megvalósuló, majd rendszeressé váló emberes űrrepülések olyan további kérdésekre is segíthettek volna választ találni. Olyanokra, amelyekre a „tengerentúli” vetélytársak sem tudtak 100%-os megoldást találni.

Feltételezem, hogy a szovjet Buran berepülése vélhetően az amerikai Space Shuttle-flotta OV-102 jelzésű Columbia elnevezésű tagjához hasonlóan történt volna meg, vagyis az abban részt vevő kétfős személyzet biztonságát garantálta volna csak katapultülés, és tervezetten csak a berepülési programok idejére.

A személyzet további tagjai részére, az alsó fedélzetre (lásd: 17. ábra!) beépíthető, állandó katapultülések ötlete – hasonlóan az amerikai űrrepülőgépekhez –, technikailag sem volt kivitelezhető csak a szerkezeti tömeg⁶⁷ elfogadhatatlan mértékű növelésével.

⁶⁵ Űrrepülőter (or. „Козмодром”). – a Szerző megjegyzése.

⁶⁶ A 75 m²-es összfelületű, három ejtőernyőből álló fűzért 50 km/h gurulási sebességnél leválasztották az űrrepülőgépről, hogy elkerüljék annak oldalra húzását [25]. – a Szerző megjegyzése.

⁶⁷ A K-36 tömege kb. 103 kg, bár egyes források szerint ennél nehezebb, kb. háromszorosa a hasonló feladatra tervezett nyugati eszközökének [28]. – a Szerző megjegyzése.

Mivel a két üreszköz felépítése nagymértékben hasonlít(ott) egymáshoz (lásd: 1. ábra!), így a Buran esetében is felmerül(hetet) az amerikai személyzetek ún. teleszkópos mentőrendszeréhez hasonló berendezés alkalmazhatósága⁶⁸, amelyet a Challenger katasztrófáját követően kísérleteztek ki a CLNWC⁶⁹ [30] ejtőernyős és mérnök szakemberei.

A K-36 típusú katapultülés további karierrje

A katapultülés - amelyből végeredményben több mint 10000 db (!) [31] került le a gyártószalagról -, egészen napjainkig a világ számtalan pilótájának életét megmentve több ország hadfelszerelési rendszerében megtalálható.

A sors furcsa fintoraként, – de egyben egy jól bevált, számtalan esetben bizonyított technikai eszköz esetén mindenféle politikai felhangtól, illetve előítélettől mentes elismeréseként is felfogható módon –, megjelent az igény a K-36 típusú katapultülés keleti repülőgépek – pl. SzU-32, SzU-34 típusok (14. ábra) - mellett nyugati repülőeszközökön – pl. az F-16 (15. ábra), YF-22 típusokon – történő alkalmazására is [32].



14. ábra K-36 típusú katapultülés vizsgálata.
A repülőgép sziluettje a SzU-34-es típusnak felel meg⁷⁰



15. ábra K-36 típusú katapultülés vizsgálata.
A repülőgép sziluettje az F-16-os típusnak felel meg⁷¹

⁶⁸ Ezt alátámasztja a „Buran” sárkányszerkezetének kialakítása (lásd a 17. ábrán az oldalsó vészelhagyó nyílást), valamint egy hivatalos forrásokból meg nem erősített információ, mely szerint a szovjet különleges műveleti erők is alkalmazták a teleszkópos-ejtőernyős légijármű elhagyási módot az An-72 típusú repülőeszközből végrehajtott személyi ejtőernyős deszantolásnál [29]. – a Szerző megjegyzése.

⁶⁹ Kína(i)-tó Haditengerészeti Fegyverzeti Központ (or. „China Lake Naval Weapons Center”). – a Szerző megjegyzése.

⁷⁰ Forrás: A Szerző ejtőernyős fényképgyűjteményéből.

⁷¹ Forrás: url: <http://ejectionsite.com/K36SLED1.jpg> (2015.03.11.).



ZÁRSZÓ

A(z űr)repülés története megmutatta, hogy az ejtőernyős mentőrendszerek széles körű alkalmazása még a repülés olyan speciális területén is nélkülözhetetlenné tud válni, mint a világűr felfedezése. A Buranba is beépített, de ezzel a repülőeszközzel kapcsolatosan „éles” alkalmazásra végül soha nem került „kozmosz” modifikációjú K-36 katapultülés típus hagyományos felépítésű, nagysebességű repülőeszközökön rendszeresített „testvérei” világszerte elismertséget szereztek a szovjet/országi katapultüléseket tervező szakembereknek. Erre jó bizonyíték a nyilvános repülőrendezvényeken, széles közönség előtt végrehajtott vészelhagyások száma és azok sikeres kimenetele⁷².

A legújabb kori űrkutatás történetének alig több mint ötven éve alatt a kozmosz eszközökön alkalmazott ejtőernyőrendszerek – néhány kivételtől eltekintve – pontos és megbízható működése biztosította a világűr békés meghódítását és az emberi tudás fejlődését.

A katapultülés alkalmazása - a belsejébe rejtett „habselyem órangyal”-al együtt -, mind az ejtőernyős technika, mind az űreszközök hihetetlen ütemű műszaki fejlődéséhez vezetett. A fejlesztési munkák során nyert tapasztalatok minden bizonnyal a jövőben is megkönnyítik a konstruktőrök munkáját, és segíteni fogják a személyi mentési problémák kérdéseire adható optimálisabb ejtőernyő-technikai megoldások megtalálását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] RAVNITZKY M. J., PATEL S. N., LAWRENCE R. A. Zuhanás az űrből: ejtőernyők és az űrprogram. Ejtőernyős Tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ, Budapest, 1997/3. pp. 38. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926)
- [2] DR. HORVÁTH ANDRÁS – SZENTPÉTERI LÁSZLÓ A Buran első útja. Az amerikai és a szovjet űrrepülőrendszerek összehasonlítása. Haditechnika, Budapest, 1989/1. pp. 27.
- [3] ŰRHAJÓZÁSI LEXIKON Space Shuttle, STS. Akadémiai Kiadó, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1984 pp. 638.
- [4] PESAVENTO P Szovjet-országi űrrepülőgép programok 1957 és 1994 között I. Haditechnika, Budapest, 1995/4. pp. 36-40. (az eredeti változat: Russia Space Shuttle projects 1957-1994. Part 1. Spaceflight, 1995. 5. sz. pp. 158-160.)
- [5] DR. POKORÁDI LÁSZLÓ A BOR repülőkísérleti komplexum. – Adalékok a szovjet-országi űrrepülőgép-programok című cikksorozathoz -. Haditechnika, Budapest, 1997/2. pp. 61-62.
- [6] PESAVENTO P Szovjet-országi űrrepülőgép programok 1957 és 1994 között III. Haditechnika, Budapest, 1997/2. pp. 62-65. (az eredeti változat: Russia Space Shuttle projects 1957-1994. Part 3. Spaceflight, 1995. 7. sz. pp. 226-229.)
- [7] SZENTPÉTERI LÁSZLÓ Az újrainduló űrrepülőgép-program. Repülés, Budapest, 1988/7. pp. 9.
- [8] RAVNITZKY M. J., PATEL S. N., LAWRENCE R. A. Zuhanás az űrből: ejtőernyők és az űrprogram. Ejtőernyős Tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ, Budapest, 1997/3. pp. 38. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926)
- [9] SZANISZLÓ ZSOLT Ejtőernyőrendszerek alkalmazási és szabályozási lehetőségei űrhajózási eszközökön. Szakdolgozat, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2000. pp. 61.
- [10] RAVNITZKY M. J., PATEL S. N., LAWRENCE R. A. Zuhanás az űrből: ejtőernyők és az űrprogram. Ejtőernyős Tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ, Budapest, 1997/3. pp. 44. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926)
- [11] DR. KISS SÁNDOR MK. ALEZREDES Biztonságtechnika alapjai. Főiskolai jegyzet, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Főiskolai Kar, Budapest, 2004. pp. 18.

⁷² Ezzel kapcsolatosan célszerű felkeresni az url: <http://ejectionsite.com-ot!> – a Szerző megjegyzése.



- [12] VOJNOV A. A. Űrhajósok ejtőernyős ugrása. Ejtőernyős Tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ 1984/6. pp. 31-32. (az eredeti változat: Человек и парашют. Москва 1977.)
- [13] KATONAI EJTŐERNYŐZÉS MAGYARORSZÁGON. Egyetemi jegyzet, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2005. pp. 89.
- [14] ПОПОВ В. Здесь конструируют парашюты и учат их летать. АВИА ПАНОРАМА, Москва, 2013/1. pp. 12-15.
- [15] АГРОНИК А. Г., ЭГЕНБУРГ Л. И. Развитие авиационных средств спасения. Издательство Машиностроение, Москва, 1990. pp. 151.
- [16] SIMON LÁSZLÓ Mentő és tartalékejtőernyők beugrásának tapasztalatai. Ejtőernyős tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ, Budapest 1980/3. pp. 18.
- [17] url:<http://www.vladimir-pesna.livejournal.com>. Zivot je sudo - Из загашников. Космические одёжки. http. (2015.03.12.)
- [18] Re/1179 AZ EJTŐERNYŐK SZERKEZETI LEÍRÁSA ÉS ÜZEMELTETÉSI SZAKUTASÍTÁSA VI. könyv. A Honvédelmi Minisztérium kiadványa, Budapest, 1984. pp. 8-9.
- [19] Re/1179 AZ EJTŐERNYŐK SZERKEZETI LEÍRÁSA ÉS ÜZEMELTETÉSI SZAKUTASÍTÁSA VI. könyv. A Honvédelmi Minisztérium kiadványa, Budapest, 1984. pp. 20-22.
- [20] PALUCH NORBERT Kozmikus személyszállító eszközökön alkalmazott kollektív és egyéni mentőberendezések. Szakdolgozat, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2000. pp. 39.
- [21] RAVNITZKY M. J., PATEL S. N., LAWRENCE R. A. Zuhanás az űrből: ejtőernyők és az űrprogram. Ejtőernyős Tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ, Budapest, 1997/3. pp. 45. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926)
- [22] url:<http://www.buran-energia.com> (2015.03.12.)
- [23] url:<http://ejectionsite.com> (2015.03.11.)
- [24] url:<http://www.buran-energia.com> (2015.03.12.)
- [25] SZANISZLÓ ZSOLT Ejtőernyőrendszerek alkalmazási és szabályozási lehetőségei űrhajózási eszközökön. Szakdolgozat, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2000. pp. 69.
- [26] PALUCH NORBERT Kozmikus személyszállító eszközökön alkalmazott kollektív és egyéni mentőberendezések. Szakdolgozat, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2000. pp. 37.
- [27] A pilóta biztonságát szolgálja a katapultülés. TOP GUN, Budapest, 1992/7. pp. 36.
- [28] PALUCH NORBERT Kozmikus személyszállító eszközökön alkalmazott kollektív és egyéni mentőberendezések. Szakdolgozat, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2000. pp. 39.
- [29] FÖLDI PÁL Szpecnaz. A szovjet különleges erők története. Anno Kiadó, Debrecen, 2002. pp. 131-132.
- [30] RAVNITZKY M. J., PATEL S. N., LAWRENCE R. A. Zuhanás az űrből: ejtőernyők és az űrprogram. Ejtőernyős Tájékoztató, LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ, Budapest, 1997/3. pp. 45. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926)
- [31] A pilóta biztonságát szolgálja a katapultülés. TOP GUN, Budapest, 1992/7. pp. 36.
- [32] MIXON B. Jr. First U.S. test of Russian-built, lightweight ejection seats. PAM#98-139 WPAFB, ASC Public Affairs.pdf

A LESZÁLLÁSI ELŐREJELZÉS VERIFIKÁCIÓJA³

Az előrejelzések bevalásának vizsgálata a repülésmeteorológia egyik fontos területe, visszaigazolást ad a felhasználóknak és az előrejelzőknek egyaránt a prognózisok helyességéről. A leszállási előrejelzés információt ad a repülőtéren két órán belül várható szignifikáns időjárási változásokról, amely kiterjed a szélre, a horizontális látástávolságra, a repülőtér területén uralkodó szignifikáns időjárási jelenségekre és a felhőzetre. A fejlesztett módszer, amely az ICAO Annex 3 által megszabott kritériumokon nyugszik, minden egyes produktumra objektív eredményt ad, így választ kaphatunk olyan kérdésekre, hogy melyik előrejelzendő elem prognosztizálása jelenti a legkisebb problémát, vagy éppen mi az előrejelzések gyenge pontja, mire kell a jövőben nagyobb figyelmet fordítani a prognózis elkészítésekor.

VERIFICATION OF LANDING FORECAST

The verification of the aerodrome forecast plays an important role in the aviation meteorology, which give a feedback to users and even the forecasters on the accuracy of the forecasts. The landing forecast shall indicate significant changes of the forthcoming two hours in respect of one or more of the following elements: surface wind, visibility, significant weather and clouds. The results of the improved verification method, which is based on the Amendment criteria given by ICAO Annex 3, help forecasters to be aware of the strengths and weaknesses of the landing forecasts. It should be turn the forecasters' attention to the biggest prognostic challenge.

BEVEZETÉS

Az előrejelzések bevalásának vizsgálata a repülésmeteorológia egyik fontos területe [1]. A verifikáció egy eszköz, amely objektív visszaigazolást ad a prognózisok helyességéről, amely által fény derülhet az előrejelzések esetleges gyenge pontjaira, valamint segítségünkre lehet a fellépő szisztematikus hibák kiszűrésére [2]. Az előrejelzők felé történő visszacsatolás mellett a verifikáció a felhasználók felé is tájékoztatást ad a prognózisok pontosságáról, továbbá minőségcélok formájában könnyen beépíthető egy minőségirányítási rendszerbe is. Ez utóbbit az ICAO⁴ Annex 3 2.2.2 pontja ajánlásként fogalmazza meg a szerződő államok felé [3]. A legtöbb repüléssel kapcsolatos előrejelzéseket készítő meteorológiai szolgálat már az 1990-es évek első felében megkezdte a TAF⁵-ok verifikációs rendszerének kidolgozását, amelyek alapját eleinte csak a fél óra rendszerességgel kiadásra kerülő METAR-ok adták. Napjainkra azonban a legtöbb módszerben a METAR⁶-ok mellett a SPECI⁷ táviratok értékelése is jelen van, amelynek szerepe kétségtelenül jelentős a heves, ámde rövid ideig tartó időjárási események verifikálása szempontjából [4]. Egészen napjainkig a TAF-okkal rokon, de a nowcasting típusú prognózisok körébe tartozó leszállási előrejelzés vereifikációja háttérbe szorult hazánkban és Európában

¹ meteorológus asszisztens, MH 86. Szolnok Helikopter Bázis, akos0109@gmail.com

² Repülésmeteorológiai részlegvezető, HungaroControl Zrt., Peter.Kardos@hungarocontrol.hu

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

⁴ International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

⁵ Terminal Aerodrome Forecast – Rendszeres repülőtéri előrejelzés

⁶ Meteorological Aviation Routine Report – Repülési rendszeres időjárás-jelentő távirat

⁷ Meteorological Aviation Special Report – Repülési különleges időjárás-jelentő távirat



egyaránt, így azt tűztük ki célul, hogy az ezek bevalásának számszerűsítéséhez alkalmazandó módszert dolgozzunk ki. Jelen írás arra hivatott, hogy a kidolgozott rendszert bemutassa, működését szemléltesse.

Miért fontos a leszállási előrejelzések pontossága? Az egyes előrejelzési produktumok különböző információval szolgálnak a földi és a hajózó személyzetnek egyaránt, így ennek megfelelően az elvárások is mások a produktumok irányában. Míg egy huszonnégy órás TAF előrejelzés a földi személyzet, illetve a hajózók számára a repülési feladatra való felkészülést segíti, addig a kettő óra érvényességi időtartammal rendelkező leszállási előrejelzés felhasználója már a levegőben tartózkodó, a célrepülőteret éppen megközelíteni szándékozó hajózó személyzet. Ennek következtében utóbbi esetben a döntések nagyobb súllyal rendelkeznek, kiélezettebbek az utasbiztonság és a gazdaságosság szempontjából egyaránt.

A LESZÁLLÁSI ELŐREJELZÉSRŐL

A leszállási előrejelzést az adott repülőtér rutin meteorológiai célú jelentéseinek végén találhatjuk. Ennek célja, hogy a repülőtértől egy repülőórányi távolságra, vagy azon belül közlekedő repülőgépeket tájékoztassa a repülőtér időjárásának két órán belüli szignifikáns változásáról. A leszállási előrejelzéseknek jelezniük kell a 10 méteren mért szél, a látástávolság, az aktuális időjárási jelenségek (továbbiakban jelenidő), a felhőzet, valamint a vertikális látástávolság vonatkozásában végbemenő jelentős változásokat. Az ICAO létrehozását szentesítő Chicagói Egyezmény 3. melléklete szabályozza a nemzetközi polgári légiközlekedést kiszolgáló meteorológiai szolgáltatások rendjét. Ez a szabályozás részletesen kitér a leszállási előrejelzésekre, amelyeket az alábbi feltételek teljesülése esetén kell kiadni [3].

- 1) Szél esetén:
 - a) a közepes szélirány 60 fokos vagy nagyobb változásakor, amikor a közepes szélesebesség a változás előtt és/vagy után 10 csomó vagy több,
 - b) a közepes szélesebesség 10 csomó értékű vagy ennél nagyobb változásakor;
 - c) üzemelési szempontból lényeges értékeket meghaladó szélváltozások esetén. A küszöbértékeket a meteorológiai hatóságnak kell meghatározni az érintett üzemeltetőkkel konzultálva, figyelembe véve azokat a szélváltozásokat, amelyek
 - i) a használatos futópálya (futópályák) irány megváltoztatását szükségessé teszik;
 - ii) által a futópálya hátszél és oldalszél összetevői a repülőtéren üzemelő tipikus légi járművek számára megállapított főbb üzemelési határértéket meghaladják.
- 2) Horizontális látástávolság esetén, ha ez a jelentés kiadása utáni két órában javul és a 150, 350, 600, 800, 1500, 3000, vagy 5000 méteres értékek közül legalább egyet elér vagy átlép, vagy romlik és a 150, 350, 600, 800, 1500, 3000, vagy 5000 méteres értékek közül legalább egyet átlép. A látástávolság romlása esetén az azt okozó jelenséget is meg kell jelölni.
- 3) Jelenidő esetében, ha a következő időjárási események valamelyike várhatóan bekövetkezik: ónos csapadék, mérsékelt vagy intenzív csapadék, zúzmarás köd, alacsonyszintű por-, homok-, hófúvás, por-, homok-, hófúvás, por-, homok-, hóvihar, zivatar (csapadékkal vagy anélkül), szélroham, felhőtölcsér, valamit azon jelenségek, amelyeket az illetékes hatóság,

az ATS⁸, vagy az operátorok meghatároznak. Minden más időjárási jelenség a leszállási előrejelzés szempontjából nem számít szignifikánsnak. Az előrejelzésekben NSW⁹-vel jelöljük, amennyiben az előbbiek közül egy jelenség megszűnik.

- 4) Jelezni kell, ha a legalacsonyabban levő OVC¹⁰ vagy BKN¹¹ mennyiségű felhőzet alapja, azaz a felhőalap emelkedése közben eléri, vagy átlépi a következő magassági szinteket: 100, 200, 500, 1000 és 1500 láb (30, 60, 150, 300 és 450 m), vagy süllyedése közben átlépi ugyanezen szinteket. Fel kell tüntetni továbbá, ha 1500 láb alatt a felhőzet FEW¹² vagy SCT¹³ mennyiségről BKN-re vagy OVC-re növekszik, vagy BKN/OVC-ről FEW/SCT-re csökken. Amennyiben a prognózis érvényességi időtartama alatt a szignifikáns felhőzet megszűnik, és a CAVOK¹⁴ nem használható, akkor az NSC¹⁵ rövidítést kell alkalmazni.
- 5) Zárt kód esetén jelezni kell, ha a vertikális látástávolság értéke növekedés mellett eléri, vagy átlépi, vagy csökkenés mellett átlépi a következő értékeket: 100, 200, 500 és 1000 láb (30, 60, 150 és 300 m).

A verifikációs módszer részletes bemutatásához elengedhetetlen a leszállási előrejelzésben használt változásjelző csoportok megismerése. NOSIG¹⁶-ot adunk akkor, ha a következő két órában nem várható szignifikáns változás az aktuális időjáráshoz képest, tehát a fenti feltételek közül várhatóan egy sem teljesül. BECMG¹⁷ változásjelzőt alkalmazunk, ha az időjárási körülmények szabályos, vagy szabálytalan ütemben várhatóan elérnek, vagy átlépnek meghatározott értékeket a két óras időszak végéig. A TEMPO¹⁸ változásjelzőt akkor kell használni, ha az adott állapot az érvényességi időtartamán belül szabálytalanul lép fel, de összességében annak felénél – egy óránál – nem tovább.

A PONTOZÁSOS MÓDSZER RÉSZLETES BEMUTATÁSA

Napjainkban széles körben alkalmazzák a kontingencia táblázat egyes értékein alapuló ún. kategóriás verifikációs sémát, amely tökéletesen alkalmas abban a szituációban, ha arra szeretnénk választ kapni, hogy hosszabb időszak alatt milyen volt a prognózisok bevalásának aránya. A verifikáció előrejelzőknek adott objektív visszajelzése azonban akkor lehet igazán eredményes, ha a prognózis érvényességi időtartamának letelte után lehetőség szerint minél rövidebb időn belül rendelkezésre áll egy, az előrejelzés minőségét jelző "jósági mérőszám". Ezen megfontolás készítésére dolgoztunk ki egy pontozásos módszert, amely előnye a másik említett verifikációs sémához képest abból adódik, hogy minden egyes produktumra, annak érvényességi idejének lejárta után azonnal információt ad a pontosságáról.

⁸ Airport Terminal Service

⁹ no significant weather – nincs szignifikáns időjárási jelenség

¹⁰ overcast = 8 okta

¹¹ broken = 5–7 okta

¹² few = 1–2 okta

¹³ scattered = 3–4 okta

¹⁴ cloud and visibility OK – A látástávolság 10 km, vagy afeletti, nincs szignifikáns időjárási jelenség, nincs felhőzet 1500 m (illetve az adott szektormagasság) alatt és nincs Cumulonimbus felhőzet az égbolton.

¹⁵ no significant cloud – nincs szignifikáns felhőzet, azaz nincs felhőzet 1500 m (illetve az adott szektormagasság) alatt

¹⁶ no significant change – nem várható szignifikáns változás

¹⁷ becoming

¹⁸ temporarily

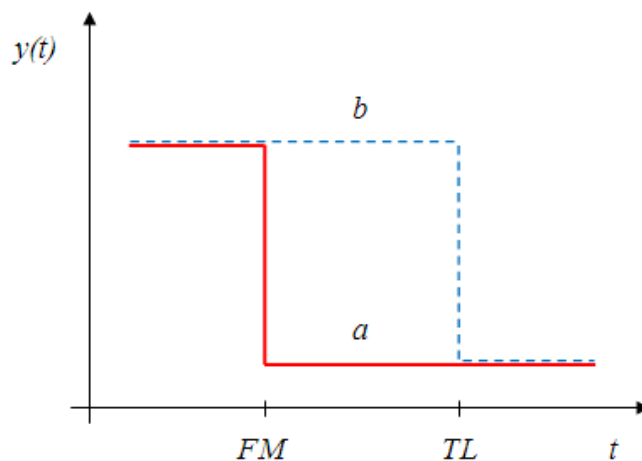
Az adatbázisban jelen levő minden leszállási előrejelzéshez kigyűjtjük a kiadását követő két órában készült METAR és SPECI táviratokat, amelyekből kinyerjük a leszállási előrejelzés szempontjából fontos adatokat. Ezeket az előrejelzett értékeket és jelenségeket minden esetben összevetjük az egyes időpontokra vonatkozó megfigyelt értékekkel és jelenségekkel, majd az egyezésnek megfelelően lepontozzuk őket.

A verifikáció első lépéseként három adatsort kell feltölteni, a megfigyelést, az úgynevezett alapprognózist és a főprognózist. A könnyebb érthetőség kedvéért, a továbbiakban – az informatika szakterminológiáját használva – nevezzük ezeket tömböknek.

A megfigyelési tömbben az adott leszállási előrejelzés kiadása utáni két órában készült jelentések főrészében (az aktuális időjárást jelentő részében) leírt értékeket, jelenségeket tároljuk. Maga az előrejelzés a benne szereplő változásjelző csoportoknak megfelelően egy (NOSIG esetén), illetve kettő (TEMPO és BECMG esetén) állapot közötti étéket, állapotot jelenthet. Ezen eshetőségeket az alap- és a főprognózis tömbjében tároljuk.

BECMG esetén azt mondjuk, hogy az időjárás változása legalább a második óra végére bekövetkezik, de nem tudjuk mikor, ezért az alapprognózis értékeit az utolsó kivételével feltöltjük azon METAR főrészében található értékeivel, amelyhez a vizsgált előrejelzés tartozik, a tömb utolsó helyére pedig a BECMG után szereplő érték kerül. A főprognózis a leszállási előrejelzésben szereplő értékkel kerül feltöltésre, ugyanis az előrejelzés kiadása után akár rögtön megtörténhet a prognosztizált változás.

A tömbök feltöltése analóg módon történik a TEMPO változásjelző esetén is azzal a kivétellel, hogy az alapprognózis utolsó eleme is a leszállási előrejelzéshez tartozó METAR főrészében található látástávolság érték lesz, ugyanis a TEMPO definíciójából adódóan nem kell, hogy az időszak végén a TEMPO-zott érték, jelenség következzen be.



1. ábra A fő- (a), az alapprognózis (b) BECMG FM és TL esetén.

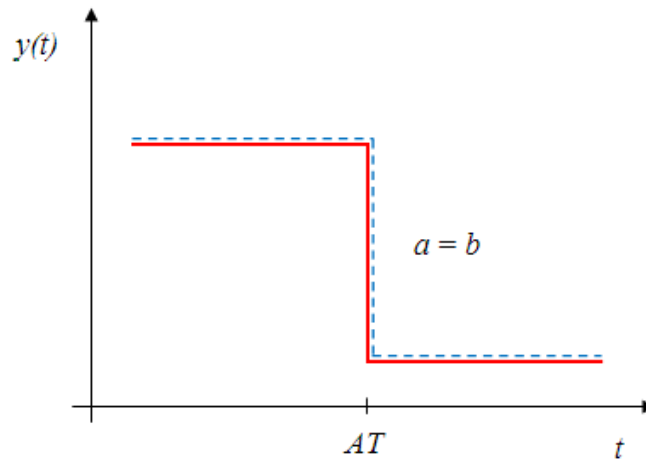
Bonyolódik az eljárás, ha a változásjelző után FM¹⁹ és/vagy TL²⁰ időintervallumot, vagy AT²¹ időpontot jelző szavacsák állnak, ekkor változik a tömbök feltöltésének módja. BECMG esetén, ha FM van a leszállási előrejelzésben, akkor az időjárás változása csak az FM után álló

¹⁹ from

²⁰ till

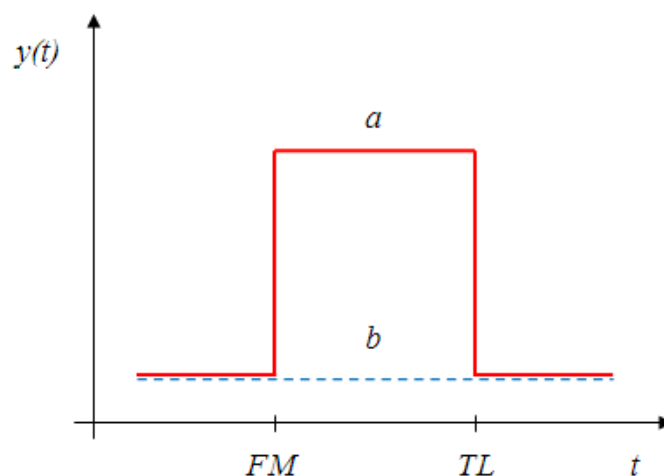
²¹ at

időponttól kezdődhet, azaz a főprognózis az említett időpontig a METAR főrészében található értékekkel és jelenségekkel lehet feltöltve. Ha TL van az előrejelzésben, akkor a változásnak a megadott időpontig be kell fejeződnie, tehát az alapprognózis a szóban forgó időpont után a leszállási előrejelzésben előrejelzett eseményt tartalmazhatja (1. ábra).



2. ábra A fő- (a) és az alapprognózis (b) BECMG AT esetén.

Végül, ha AT található a leszállási előrejelzésben, akkor az előrejelzést tartalmazó tömbök mindegyike az adott időpont előtt a METAR főrészében, az adott időpont után pedig a leszállási előrejelzésben kódolt értéket, valamint eseményt tartalmazhatja (2. ábra).



3. ábra A fő- (a) és az alapprognózis (b) TEMPO FM és TL esetén.

TEMPO esetén, ha FM van az előrejelzésben, akkor a BECMG-hoz hasonlóan csak az FM után álló időponttól kezdődhet meg az időjárás időszakos változása és tarthat az érvényességi időszak végéig. Ha TL van a leszállási előrejelzésben, akkor az ezután álló időpontig történhet időszakos változás, majd a főprognózis visszaáll a METAR főrészében jelentett állapotba (3. ábra).

A leszállási előrejelzésben szereplő NOSIG minden, az előrejelzés utáni két órában megjelenő időjárás-jelentő távirat időpontjában a perzisztencia prognózist jelenti, így ez esetben az előrejelzési tömbök minden eleme a prognózis megjelenésének időpontjában kiadott METAR főrészében szereplő értékeket, illetve jelenségeket tartalmazza.

A módszert a következő eseten mutatjuk be:



Az alábbi METAR kiadásának helye és időpontja: Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtér (ICAO azonosító: LHBP), 2013. december 1. 04:00 UTC:

METAR LHBP 010400Z 35005KT **6000** NSC M06/M06 Q1025 TEMPO **FM0500 4000** BR

Az ezt követő két órában az alábbi táviratok kerültek kiadásra:

METAR LHBP 010430Z VRB01KT **6000** NSC M06/M07 Q1025 TEMPO FM0500 4000 BR

METAR LHBP 010500Z 00000KT **5000** BR NSC M06/M07 Q1025 TEMPO 4000 BR

METAR LHBP 010530Z 00000KT **5000** BR NSC M06/M07 Q1025 TEMPO 4000 BR

METAR LHBP 010600Z VRB01KT **3500** BR NSC M07/M07 Q1026 TEMPO 3000 BR

Az előbbi METAR-ok alapján az előrejelzést reprezentáló tömbök a látástávolság esetén az alább látható módon kerülnek feltöltésre (1. táblázat):

időpont (UTC)	Megfigyelés	Alapprognózis	Főprognózis
04:30 UTC	6000	6000	6000
05:00 UTC	5000	6000	4000
05:30 UTC	5000	6000	4000
06:00 UTC	3500	6000	4000

1. táblázat Példa a három tömb feltöltésére a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtéren 2013. december 1-én a 04:00 UTC-kor és az ezt követő két órában kiadott METAR-ok alapján.

Miután az előzőekben bemutatott módon feltöltöttük az előrejelzési tömböket, mind a szél, mind a látástávolság, mind a jelenidő és felhőzet esetén, ezek elemeit összevetjük a megfigyelési tömb elemeivel, amelyeket az adott időpontokban páronként lepontozzuk. A pontozási módszerek az egyes előrejelzendő elemek, valamint változásjelző csoportok esetén eltérőek, a következőekben kerülnek bemutatásra. Ezen pontszámok összeadása után a két órában kiadott táviratok számával leosztva megkapjuk az előrejelzendő elemek végső pontszámát. A leszállási előrejelzés végső pontszámát a négy előrejelzendő elem pontjainak összege adja.

Pontozás a szél esetén

A Leszállási előrejelzésekről című fejezetben leírtak alapján kettő, a táviratokban kódolt szélcsoport egy kategóriába esik, ha:

- 1) a két szélesebesség 10 csomó (5 m/s) alatti,
- 2) valamelyik szélesebesség eléri a 10 csomót (5 m/s), vagy afeletti, a másik szélesebesség 10 csomó alatti, és irányuk különbsége 60° -nál kisebb, valamint a szélesebességek különbségének abszolút értéke 10 csomónál kisebb,
- 3) a szélesebességek különbsége 10 csomó (5 m/s) alatti.

A verifikációt végző algoritmus a szél kategorizálásának vizsgálatát rendre az imént felírt sorrendben végzi. Abban az esetben, ha valamelyik szélcsoport

esetén (vagy akár mindkettőben) a szélirány változónak lett kódolva, a szélességre vonatkozó kritériumok vizsgálандók, ugyanis a VRB kódolás jelentése alapján a szél irányának változása biztosan több mint 60° [3].

A leszállási előrejelzés kiadásának kritériumai szerint a METAR távirat főrészeben található szélhez képesti megváltozást kell vizsgálni. A megfigyelés és az előrejelzés esetén a prognózis kiadásakor készült METAR táviratban kódolt szél szerint megállapítjuk kategóriáik sorszámát.

Ha a prognózis nem tartalmaz szélre vonatkozó változást (NOSIG), az egyes időpontokban az előrejelzés egy pontot ér, ha az észlelési tömbben és az előrejelzési tömbben található szél egy kategóriába esik.

Ha a szél szignifikáns változása (kategóriaváltást eredményező változása) BECMG változásjelzővel lett bevezetve, akkor ennek folytonos tulajdonsága szerint, ha már egyszer megtörtént a kategóriaváltás, akkor következő időpontokban az előrejelzés akkor lehet maximális pontszámú, ha a megfigyelés az előrejelzett szél kategóriájának megfelel. Ha az prognózisban szereplő változás nem következik be az érvényességi időn belül, akkor a leszállási előrejelzés szélre vonatkozó összesített pontszáma nulla lesz.

Ha a leszállási előrejelzés TEMPO változásjelzőt tartalmaz, az előrejelzés adott időpontban akkor ér egy pontot, ha vagy az alap-, vagy a főprognózis megfelelő eleme a megfigyelési tömb adott elemével egy kategóriába esik, egyébként a prognózis 0 pontot ér. További vizsgálatot igényel, hogy a TEMPO-zott időszakban a prognosztizált szél kategóriája összességében az időszak felénél ne forduljon tovább elő. Ha ez megtörténik, akkor a TEMPO változásjelző helytelenül került kiválasztásra, ezért az összesített pontszámot 0,75-tel szorozzuk meg [4].

Horizontális látástávolság

A már leírtak szerint leszállási előrejelzést kell kiadni, ha az elkövetkezendő két órás időszakban a látástávolság az adott kritikus értékek közül várhatóan legalább egyet elér és/vagy átlép. Ezek alapján a látástávolság értékeit nyolc kategóriába sorolhatjuk, amelyek intervallumai a következők: [0,150), [150,350), [350,600), [600,800), [800,1500), [1500,3000), [3000,5000), [5000,9999] (ugyanis a 10 km és afeletti látástávolság mind a táviratokban, mind a leszállási előrejelzésben 9999-ként szerepel). Szemléletesen azt lehet mondani, hogy akkor kell leszállási előrejelzést kiadni, ha a látástávolság várhatólag „kategóriát ugrik”. Ha a táviratban vagy az előrejelzésben CAVOK szerepel, az ICAO erre vonatkozó szabályzata értelmében a látástávolság 10 km, vagy afeletti, így a 8. kategóriába sorolandó [3].

Ha az előrejelzés látástávolságra vonatkozóan NOSIG, az egyes időpontokban az előrejelzés egy pontot ér, ha az észlelési tömbben és az előrejelzési tömbben található horizontális látástávolság egy kategóriába esik.

Ha a látástávolság előrejelzése BECMG-gal történt, a kiadást követő két óra megfigyeléseinek egy adott időpontjában vett látástávolság értéke a következők szerint kerül pontozásra. Ha megfigyelt látástávolság kategóriája az alap-, illetve főprognózis kategóriája közé esik (az egyenlőség mindkét esetben megengedett) és az ezt megelőző megfigyelt értékek kategóriáival alkotott időszora az előrejelzésnek megfelelő irányú időben monoton változást mutatnak, az előrejelzés adott időpontban egy pontot ér. A megfelelő irányú monotonitás alatt a következő értendő. Ha a leszállási előrejelzés

látásromlást prognosztizál, a monoton csökkenés, látásjavulás előrejelzése esetén a monoton növekedés az elvárt kritérium. A példákban egyes látástávolság értékek mögötti zárójelben azok kategóriáit tüntettük fel. Ha a METAR kiadásakor 800 m-es (5) volt a látástávolság és 3000 m-re (7) történő javulást vártunk, valamint a megfigyelés rendre 800 m (5), 1000 m (5), 1500 m (6), 3000 m (7) és 5000 m (8) volt, akkor az utolsó időpont kivételével az előrejelzés egy-egy pontot ér. Az utolsó észlelés kategóriája a változásnak megfelelő irányban eggyel tér el a prognózis kategóriájától, ezért ennek pontszáma 0,3. A következő példa szemlélteti, hogy BECMG esetén a folyamatot tekintve a látástávolság kategóriáinak monoton kell változniuk. A fennálló szituáció az előző példával megegyező attól eltekintve, hogy az utolsó megfigyelt két érték rendre 1000 m (5) és 3000 m (7). Ekkor az utolsó előtti érték kategóriája az előtte lévőhöz képest kisebb lett, annak ellenére, hogy az előrejelzés szerint a kategóriák sorozatának monoton kellene növekedni, így abban az időpontban az előrejelzés nulla pontot ér. Ha a megfigyeléseket tekintve a fent említett tulajdonságok fennállnak, de a látástávolság változása nem olyan mértékű, mint azt az előrejelzés várta, akkor az egyes időpontokban a prognózis értéke szintén egy, azaz maximális. Az összesített pontszámot a METAR főrészében jelentett, valamint a javulást vagy romlást előrejelző prognózisnak megfelelően az érvényességi időszakon belül észlelt maximum/minimum látástávolság érték kategóriájának különbségéből és a kiadásakor jelentett és az előrejelzésben szerepelt értékek kategóriáinak különbségéből képzett hányadossal szorozzuk. Ezt a szorzót nevezzük a főrészben jelentet horizontális látástávolsághoz képest vett relatív távolságnak. Az előbbi példánál maradva, ha a megfigyelt látástávolság értékek maximuma (hiszen az előrejelzés javulást várt) 1500 m (6) lenne, akkor az összesített pontszám 0,5 értéket venne fel. Ebből a módszerből adódóan, ha a látástávolság kategóriája nem változik az előrejelzési időszak alatt, a prognózis összesített pontszáma 0 lesz.

Ha a látástávolság változása TEMPO változásjelzővel lett bevezetve, akkor az előrejelzés adott időpontban egy pontot ér, ha a megfigyelés az alap-, vagy a főprognózis adott elemeinek kategóriái közé esik (az egyenlőség mindkét esetben megengedett), ha a változásnak megfelelő irányban eggyel tér el a prognózis kategóriájától, pontszáma 0,3. A BECMG-hoz hasonlóan, ha a megfigyeléseket tekintve az imént említett tulajdonságok fennállnak, de a látástávolság változása nem olyan mértékű, mint az előrejelzésben vártuk, akkor az egyes időpontokban a prognózis értéke egy, azaz maximális. Az összesített pontszám előállításához megvizsgáljuk, hogy az előrejelzésnek megfelelően mi a maximum/minimum látástávolság érték kategóriája. Ezután előállítjuk a főrészben jelentet és az előrejelzett horizontális látástávolsághoz képest vett relatív távolságot, amelyekkel megszorozzuk az összesített pontszámot és kiválasztjuk a nagyobbat. Továbbá, ha a leszállási előrejelzés TEMPO változásjelzőt tartalmaz és az előrejelzett látástávolság kategóriája a TEMPO-zott időszakban összességében az időszak felénél tovább fordul elő, akkor a TEMPO változásjelző helytelenül került kiválasztásra, ezért összesített pontszámot 0,75-tel szorozzuk meg [4].

Jelenidő

A jelenidő verifikálását nehezíti, hogy a METAR és SPECI jelentésekben és az ezek végén kiadott leszállási előrejelzésekben egyaránt három-három jelenidő kód is megadható. A leszállási előrejelzésben csak a korábban felsorolt időjárás jelenség kategóriákba tartozó jelenségek

várható bekövetkezését, illetve ezek megszűnését kell feltüntetni. Jelenidő esetén minden esetben az alap- és főprognózis adott elemeit hasonlítjuk az adott időpontban történt megfigyeléshez. A pontozás a következőképpen alakul.

	...	+SNRA	SNRA	+RASN	RASN	+SHRA	SHRA	...
...	1	...	...	...	...	...	...	...
+SNRA	...	1	0,8	0,9	0,7	0,45	0,15	...
SNRA	...	0,8	1	0,7	0,9	0,15	0,45	...
+RASN	...	0,9	0,7	1	0,8	0,55	0,35	...
RASN	...	0,7	0,9	0,8	1	0,25	0,55	...
+SHRA	...	0,45	0,15	0,55	0,25	1	0,8	...
SHRA	...	0,15	0,45	0,35	0,55	0,8	1	...
...	...	...	...	...	...	...	...	1

2. táblázat A jelenidő pontozásához használt hasonlósági mátrix részlete.

Legyen az előrejelzett és a megfigyelt időjárás rendre SQ FC TSRAGR (zivatar heves záporosóvel és jégesóvel, valamint szélroham és tölcsérfelhő) és SQ TSRA (zivatar mérsékelt záporosóvel és szélrohammal). Ekkor a prognosztizált időjárás minden elemét (jelen esetben: SQ, FC, +TSRAGR) külön-külön összevetjük az észlelt időjárás minden elemével (jelen esetben: SQ, TSRA), majd páronként pontozzuk őket. A pontozás egy hasonlósági mátrix alapján történik, amelynek egy részlete a 2. táblázatban látható. Ezek után kiválasztjuk a prognosztizált jelenidőkhöz tartozó pontszámok közül a maximálisat, majd ezeket összeadjuk és elosztjuk a megfigyelt és előrejelzett szignifikáns jelenidők száma közül a nagyobbbal.

A fenti példa esetén:

- SQ-SQ: 1 pont, SQ-TSRA: 0 pont → 1 pont
- FC-SQ: 0 pont, FC-TSRA: 0 pont → 0 pont
- +TSRAGR-SQ: 0 pont, +TSRAGR-TSRA: 0,5 pont → 0,5 pont

A végső pontszám tehát $(1 + 0 + 0,5)/3 = 0,5$ pont.

Ha a várt jelenidő BECMG mögött áll, és annak egy tagja sem következik be az előrejelzés érvényességi ideje alatt, akkor az előrejelzés összesített pontszáma 0 lesz.

Amennyiben a leszállási előrejelzés TEMPO változásjelzőt tartalmaz, valamint ha a prognosztizált jelenidők közül legalább egy a TEMPO-zott időszakban az időszak felénél hosszabb ideig fordul elő, akkor az összesített pontszámot 0,75-tel szorozzuk meg [4]. Ezen vizsgálat alól kivételt képeznek azon jelenidők, amelyek kiadásra kerültek annak a METAR-nak a főrészében, amelyhez a leszállási előrejelzés tartozik, ugyanis ezeket kötelező jelleggel kell megjeleníteni, mint a látástávolságot csökkentő tényezőket [3].

Felhőzet

A jelenidőhöz hasonlóan, a felhőzet egy METAR és SPECI táviratban, valamint a leszállási előrejelzésben akár három vagy Cumulonimbus felhőzet jelenléte esetén négy tagból is állhat, azonban a verifikálás folyamán minden esetben a legalacsonyabban levő BKN/OVC, azaz a felhőalap mennyiségű felhőzet magasságát kell figyelembe vennünk. A már leírtak szerint a felhőalap magasság szerint a következő hat kategória valamelyikébe sorolandó. Ha a felhőalap magassága [0,100) láb között van, a kategória sorszáma 1, ha [100,200) között 2, ha [200,500) között 3, ha [500,1000) között 4, ha [1000,1500) között 5, és 1500 láb felett 6. Ha nincs felhőalap, tehát FEW/SCT/NSC mennyiségű felhőzet figyelhető meg, vagy van előrejelezve, az a prognózis szempontjából nem szignifikáns felhőzet, a 6. kategóriába kerül beosztásba.

Ha az előrejelzés felhőzetre vonatkozóan NOSIG, az egyes időpontokban az előrejelzés egy pontot ér, ha az észlelési tömbben és az előrejelzési tömbben található felhőzet egy kategóriába esik.

BECMG és TEMPO esetén három esetet különböztethetünk meg:

- 1) A METAR fő részében és a leszállási előrejelzésben is felhőalap mennyiségű felhőzet található,
- 2) a METAR fő részében nem felhőalap mennyiségű, a leszállási előrejelzésben felhőalap mennyiségű felhőzet található,
- 3) a METAR fő részében felhőalap mennyiségű, a leszállási előrejelzésben nem felhőalap mennyiségű felhőzet található.

Az első esetben mind a BECMG, mind a TEMPO esetén a felhőzet előrejelzése pontosságának kiértékelése a horizontális látástávolság pontozásával megegyező módszerrel történik. Második esetben, ha a változásjelző csoport BECMG, a verifikáció a következők szerint készül. Megállapítjuk, az érvényességi időtartamon belül melyik időpontban lesz felhőalap mennyiségű felhőzet. Ezen időpont előtt minden megfigyelés esetén az előrejelzés egy pontot ér, utána pedig szintén a látástávolság módszerét alkalmazzuk úgy, hogy a megkapott időpontban megfigyelt felhőalap veszi át a METAR fő részében jelentett felhőalap helyét, hiszen akkor kezdődhet a felhőalap lényegi, szignifikáns változása. TEMPO esetén az előrejelzés egy pontot ér, ha az egyes megfigyelésekkor nincs felhőalap mennyiségű felhőzet, vagy ha a felhőalap kategóriája megegyezik az előrejelzett felhőalap kategóriájával. Ha a megfigyelt és előrejelzett felhőalapok kategóriái közötti különbség egy, a pontszám 0,5-nek adódik. Harmadik esetben, ha a változásjelző csoport BECMG, megállapítjuk, hogy az érvényességi időtartamon belül melyik időpontban lesz nem felhőalap mennyiségű felhőzet. Ezen időpont előtt, adott megfigyelés esetén az előrejelzés akkor ér egy pontot, ha az alapprognózis kategóriájának száma megegyezik a megfigyelt felhőalap kategóriájának számával, utána pedig akkor egy pont, ha a megfigyelés nem szignifikáns felhőzet. TEMPO esetén ugyanúgy járunk el, mint a második esetben. Amennyiben az előrejelzett felhőalap hosszabb ideig fordul elő az előrejelzési időszakban, mint annak fele, akkor nem a megfelelő változásjelző kategóriát választottuk, így a végső pontszámot 0,75-tel szorozzuk [4].

Vertikális látástávolság

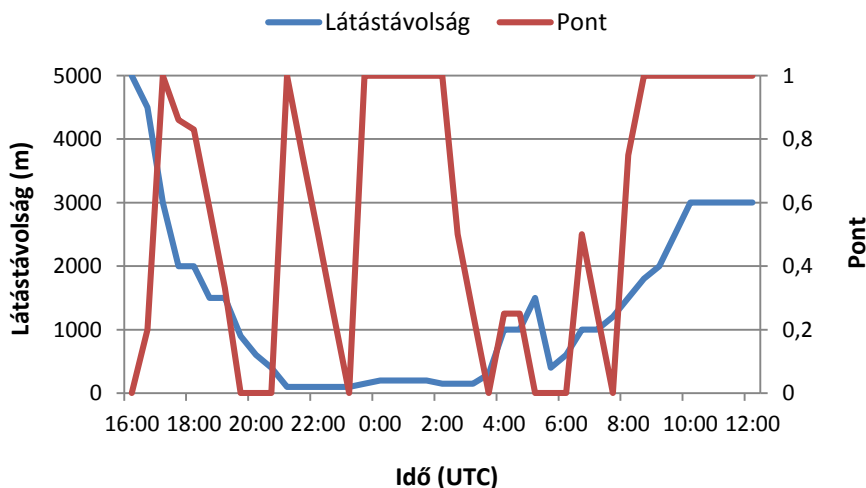
Vertikális látástávolság előrejelzésének pontossága a felhőzet verifikálásába került beépítésre. A különböző mennyiségű vertikális látástávolságok a megfelelő felhőalap kategóriába kerültek beosztásra.

Az előző módszertani fejezetben bemutatott pontozásos módszer működését két olyan esettanulmányon keresztül is szeretnénk ismertetni, amelyek jól érzékeltetik, hogy a kidolgozott algoritmus egy-egy összetettebb időjárási helyzetben hogyan képes a prognózisok bevalását értékelni.

Köd a Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtéren 2013.11.16-án és 17-én

2013. november 16-án és 17-én Közép-Európa, így a Kárpát-medence térsége is magassági gerinc előoldalán helyezkedett el, időjárását nagy kiterjedésű anticiklon határozta meg. A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtéren a szóban forgó éjszaka a kisugárzás hatására erős, közel 10 °C-os hőmérsékleti inverzió alakult ki, ezzel gátolva a talaj közeli légréteg átkeveredését. A folyamatos hőmérsékletcsökkenésnek, a csekély, mindössze néhány tized °C-os harmatpont depresszióknak, valamint a gyenge, 0–2 csomós felszín közeli szélsőségeknek köszönhetően sűrű köd alakult ki. November 16-án 21:15 UTC-től, egészen november 17. 03:30 UTC-ig 200–250 m volt a horizontális látástávolság, ami az időszak elején 100 m-re csökkent és két órán keresztül fenn is állt. 03:30 UTC után átmeneti javulás kezdődött, a látástávolság 1500 m-re nőtt, ám 05:30 UTC után ismét 1000 m alá csökkent. A sűrű ködnek köszönhetően az éjszaka folyamán tizennégy repülőgép nem tudott landolni a budapesti repülőtéren. 06:30 UTC után a látástávolság ismét 1000 m fölé javult, és a délelőtt folyamán 1000 és 5000 m között maradt.

Megvizsgáltuk az ebben az időszakban kiadott leszállási előrejelzések látástávolságra vonatkozó bevalását. Az egyes látástávolság értékek mögötti zárójelben azok kategóriáit tüntettük fel.



4. ábra A látástávolság alakulása és a leszállási előrejelzés látástávolság bevalásának értékei a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtéren 2013. november 16-án és 17-én.

A vizsgált időszak elején az előrejelzések nem számítottak olyan mértékű látásromlásra, hogy az kategóriaváltást jelentsen (NOSIG). A látástávolság csökkenésével 17:00 és 17:30 UTC-kor a leszállási előrejelzések folyamatos 1500 m-ig (6) romló tendenciát jeleznek előre (BECMG 1500). Ez a 17:00 UTC-kor kiadott prognózis esetén teljesen helyén való, ugyanis a látástávolság 19:00 UTC-ig nem romlik 1500 m alá, ezért ennek bevalása maximális. A 17:30 UTC-kor kiadott METAR végén található előrejelzés már nem ér egy pontot, hiszen 19:30 UTC-kor már 900 m-es (5) látástávolságot észleltek, így megtörtént a kategória átlépése, az előrejelzés abban az időpontban



0,3 pontot ér. A 18:00–19:30 UTC-s leszállási előrejelzésekben rendre 2000 m (6), illetve 1500 m (6) látástávolság mellett időnkénti 1000 m-re (5) történő látásromlást prognosztizáltak (TEMPO 1000). Ezen előrejelzések bevalása az idő előrehaladtával folyamatosan gyengül, ugyanis 20:00 UTC-től 21:00 UTC-ig minden fél órában egy kategóriával csökken a horizontális látástávolság értéke. A 20:00 és 20:30 UTC-kor írt prognózisok már nem számítanak szignifikáns változásra, ennek ellenére a látástávolságban további romlás volt megfigyelhető, így a prognózisok 0 pontot kaptak. A 21:00 UTC-s METAR – amelyben 100 m-t (1) észleltek – végén található előrejelzés (NOSIG) maximális bevalású, mert a következő két órában a horizontális látástávolság szintén 100 m volt. Az ezt követő négy távirat sem számít szignifikáns változásra, azonban 23:30 UTC-től a látás 150 m (2) fölé javul, így ezek pontszáma rendre csökken.

Dátum	Látástávolság (m)	Leszállási előrejelzés
2013.11.17 00:00 – 01:30	200 (2)	NOSIG
2013.11.17 02:00 – 03:00	150 (2)	NOSIG
2013.11.17 03:30	300 (2)	NOSIG
2013.11.17 04:00 – 04:30	1000 (5)	NOSIG
2013.11.17 05:00	1500 (6)	BECMG 2500 BR
2013.11.17 5:30	400 (3)	NOSIG
2013.11.17 6:00	600 (4)	NOSIG
2013.11.17 06:30 – 07:00	1000 (5)	NOSIG
2013.11.17 07:30	1200 (5)	NOSIG
2013.11.17 08:00	1500 (6)	NOSIG
2013.11.17 08:30	1800 (6)	BECMG 4000 BR
2013.11.17 09:00	2000 (6)	BECMG 4000 BR
2013.11.17 09:30	2500 (6)	BECMG 4000 BR
2013.11.17 10:00	3000 (7)	BECMG 4000 BR
2013.11.17 10:30 – 12:00	3000 (7)	NOSIG

3. táblázat A Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtéren 2013. november 17-én 00–12 UTC kiadott METAR táviratokból kinyert látástávolságok (kategóriájuk) és a leszállási előrejelzések.

Ezekkel azonos megmondások magyarázzák az időszak további prognózisainak pontszámait is (4. ábra). A METAR-okból kinyert látástávolságokat és a leszállási előrejelzéseket lásd a 3. táblázatban.

Zivatar a prágai Václáv Havel repülőtéren 2009.07.23-án

2009. július 27-én Közép-Európa magassági teknő előoldalán helyezkedett el, amelyet a nap folyamán nyugati irányból egy hullámzó frontálzóna közelített meg. A talajfront előtt, 12 és 18 UTC között Csehország területén jelentős prefrontális konvergenciavonal alakult ki. Emellett a hosszán elnyúló frontrendszer előterében jelentős mennyiségű, földközi-tengeri eredetű nedvesség gyülemlt fel. Az emelés és a nedvességi viszonyok egyaránt kedveztek zivatarok kialakulásának. A légkör vertikális szerkezetéről elmondható, hogy a 700 hPa-os szinttől a troposzféra

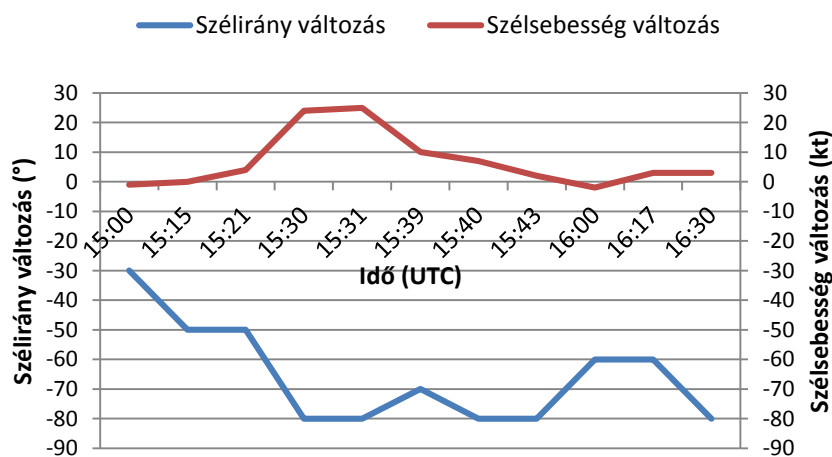
tetejéig hidrosztatikailag instabil volt a légkör, a hozzáférhető potenciális energia értéke hozzávetőlegesen 2500 J/kg értéket fejt fel, amely heves zivatarok kialakulására engedett következtetni.

A pontozásos algoritmus imént ismertett időjárási helyzetre vonatkozó értékelését a következőkben ismertetjük. A Václav Havel repülőtéren 12:00 UTC és 16:00 UTC között kiadott jelentésekből származó szél és látástávolság értékek, jelenidők és leszállási előrejelzések, valamint az egyes elemek pontszámai a 6. táblázatban található.

A repülőtér területén a szél sebességének folyamatos növekedése mellett 13:30 UTC-kor jelentős mértékű (> 60°) szélfordulás következett be, amit a 12:00 UTC-től 13:00 UTC-ig kiadott leszállási előrejelzések nem prognosztizáltak. A szél irányának fordulása oly mértékű volt, hogy az imént említett időintervallumban kiadott METAR táviratokban kódolt szél a bemutatott kritériumok 2) pontja értelmében a prognosztizált széllel nem esik egy kategóriába, így a leszállási előrejelzések szélre vonatkozó pontszáma 13:00 UTC-ig időpontról időpontra csökkenő tendenciát mutat. 13:30 UTC-re a szélfordulás megtörtént, így az előrejelzések ismét magasabb pontszámot kaphattak, de a zivataros kifutószél okozta újabb irányváltozást már nem prognosztizálták. Ebből adódóan a 13:30 és a 14:00 UTC-s leszállási előrejelzések szélre vonatkozó pontszáma rendre csökken.

A zivatar 15:21 UTC-kor érte el a repülőtér területét, előrejelzésének bevalását a 14:30 UTC-kor kiadott prognózison vizsgáltuk. Az időjárás változékonyságát illusztrálja, hogy a 14:30 UTC utáni két órás időszakban a négy rendszeresen kiadásra kerülő reguláris távirat mellett hét SPECI került a nemzetközi adatforgalomba.

Az előrejelzés szél tekintetében perzisztencia prognózisnak számít, így egészen 15:21 UTC-ig és 16:00 UTC-kor helytálló, ugyanis az előbbi időpontokban kódolt szél a 14:00 UTC-kor kiadott METAR-ban jelentett szél irányától nem tér el 60°-nál, sebességétől 10 csomónál többel (5. ábra).



5. ábra A szél sebességének és irányának változása a 14:30 UTC-kor kiadott METAR-ban szereplő szél sebességéhez is irányához képest, 2009. július 23 Václav Havel repülőtér, Prága.

Ezekben az időpontokban a prognózis 1 pontot ér. A 15:00 UTC-kor mért szél a 14:00 UTC-shez képest irányban 70°-kal, sebességben 24 csomóval tér el, így nem tartoznak egy kategóriába, a prognózis 0 pontos. Az ezt követő négy időpontban azonos meggondolások miatt az előrejelzés szintén 0 pontot ér. 16:00 és 16:17 UTC-kor csak 50°-os, 2 illetve 3 csomós eltérés adódott a kezdeti időponthoz képest, azaz az akkor mért szél értékek egy kategóriába esnek a



14:30 UTC-kor kódolt széllel. Végül a 16:30 UTC-s METAR-ban a szélirány eltérése már 70°, ezért ismét nem esnek egy kategóriába.

Összességében a leszállási előrejelzés ötször találta el és hatszor hibázta el a szél kategóriáját. Mivel két óra alatt tizenegy táviratot adott ki a prágai repülőtér, így a végeredmény 0,45-nek adódott.

A 14:30 UTC-kor készült előrejelzés a 10000 m, vagy afeletti látástávolság mellett időnként 4000 m-re való csökkenést jelez előre (TEMPO 4000). A 4. táblázatban látható a 16:30 UTC-ig megfigyelt látástávolság és a prognózis két előrejelzési tömbje, a fő- és alapprognózis. A látástávolság értékek mögött feltüntettük azok kategóriáinak sorszámát egyaránt. Láthatjuk, hogy a vihar okozta záporos jellegű csapadék miatt 15:30 és 15:39 UTC között a repülőtér területén jelentős mértékben lecsökkent a látástávolság értéke.

Dátum	Megfigyelés (m)	Főprognózis (m)	Alapprognózis (m)	Pontszám
2009.07.23. 15:00	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 15:15	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 15:21	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 15:30	5000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 15:31	1500 (6)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	0,3
2009.07.23. 15:39	5000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 15:40	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 15:43	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 16:00	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 16:17	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1
2009.07.23. 16:30	≥ 10000 (8)	4000 (7)	≥ 10000 (8)	1

4. táblázat A prágai Václav Havel repülőtéren 2009. július 23-án 15:00 és 16:30 UTC között kiadott METAR és SPECI táviratokból kinyert látástávolság értékek, 14:30 UTC-kor készült leszállási előrejelzés látástávolságra vonatkozó tömbjei és adott időpontokra vonatkozó pontszámai.

A zárójelben a látástávolság értékek kategóriájának sorszámát tüntettük fel.

Mindössze egyetlen alkalommal (15:31 UTC) nem egyezik meg a megfigyelt érték kategóriája a valamelyik előrejelzési tömbben található érték kategóriájával, de az csak eggyel kisebb, így pontszáma 0,3. Tehát a 14:30 UTC-t követő két órás időszakban tizenegyből egyszer volt pontatlan a horizontális látástávolság előrejelzése. A prognózis összesített pontszáma 0,94.

A jelenidő előrejelzése az alábbiak szerint került pontozásra. A 14:30 UTC-kor kiadott előrejelzés időnként megjelenő zivatarra figyelmeztet közepes intenzitású eső mellett (TEMPO TSRA). Az 5. táblázatban láthatjuk, hogy a 15:15 UTC-kor már a repülőtér közelében (VCTS) és 15:21 UTC-kor a repülőtéren is észlelték a zivatart (-TSRA). Az előrejelzés a két órás érvényességi időtartam első két időpontjában (15:00 és 15:15 UTC) az alapprognózis értelmében 1-1 pontot ér, hiszen a repülőtér közelében lévő zivatar szerint nem számít szignifikáns időjárási eseménynek. 15:21 és 15:40 UTC-kor zivatart jelentettek a prágai repülőtér észlelői gyenge

intenzitású esővel (-TSRA), így a pontozási tábla értelmében az adott időpontra vonatkozó előrejelzések 0,8–0,8 pontosak.

Dátum	Megfigyelés	Főprognózis	Alapprognózis	Pontszám
2009.07.23. 15:00	NSW	TSRA	NSW	1
2009.07.23. 15:15	VCTS (NSW)	TSRA	NSW	1
2009.07.23. 15:21	-TSRA	TSRA	NSW	0,8
2009.07.23. 15:30	TSRA SQ	TSRA	NSW	0,5
2009.07.23. 15:31	+TSRA SQ	TSRA	NSW	0,4
2009.07.23. 15:39	TSRA	TSRA	NSW	1
2009.07.23. 15:40	-TSRA	TSRA	NSW	0,8
2009.07.23. 15:43	VCTS (NSW)	TSRA	NSW	1
2009.07.23. 16:00	RETSRA (NSW)	TSRA	NSW	1
2009.07.23. 16:17	NSW	TSRA	NSW	1
2009.07.23. 16:30	NSW	TSRA	NSW	1

5. táblázat A prágai Václav Havel repülőtéren 2009. július 23-án 15:00 és 16:30 UTC között kiadott METARés SPECI táviratokból kinyert jelenidők, a 14:30 UTC-kor készült leszállási előrejelzés jelenidőre vonatkozó tömbjei és a prognózis egyes időpontokra vonatkozó pontszámai.

A 15:30 UTC-kor kiadott METAR táviratban zivatart kódoltak szélroham kíséretében (TSRA SQ). A zivatar helyes prognosztizálása mellett a szélroham előrejelzése elmaradt, ezért a pontszám 0,5-nek adódott. 15:31 UTC-kor a heves zivatart (+TSRA) jelentettek szélrohammal. A zivatarintenzitás helytelen előrejelzése összességében 0,8 pontot ér, de a szélroham prognózisból történő kihagyása miatt az adott időpontra vonatkozó pontszám 0,4 lett. 15:39 UTC-kor az előrejelzés beválása maximális, hiszen a megfigyelt és előrejelzett jelenidő megegyezik. A METAR táviratban lehetőség nyílik arra, hogy utaljunk egy már véget ért időjárási jelenségre (RE-), azonban a leszállási előrejelzés szempontjából ez nem számít szignifikáns jelenségnek, így 16:00 UTC-kor a prognózis 1 pontot ért el. A 16:17 és 16:30 UTC-kor készült táviratok nem tesznek jelentést a leszállási előrejelzés szempontjából fontos eseményről, így az alapprognózis értelmében az előrejelzések 1–1 pontot érnek.

A leszállási előrejelzés jelenidőre vonatkozó pontszáma az imént leírt pontok összegének és a kiadását követő két órában készült táviratok számának hányadosaként áll elő, így a végső pontszám 0,86.

Az ICAO leszállási előrejelzésre vonatkozó ajánlása a felhőzet típusára nem terjed ki, és a felhőalap 1500 lábas határát sem a megfigyelt, sem az előrejelzett felhőzetcsoport egyik tagja sem lépte át, az erre vonatkozó prognózis pontszáma 1.



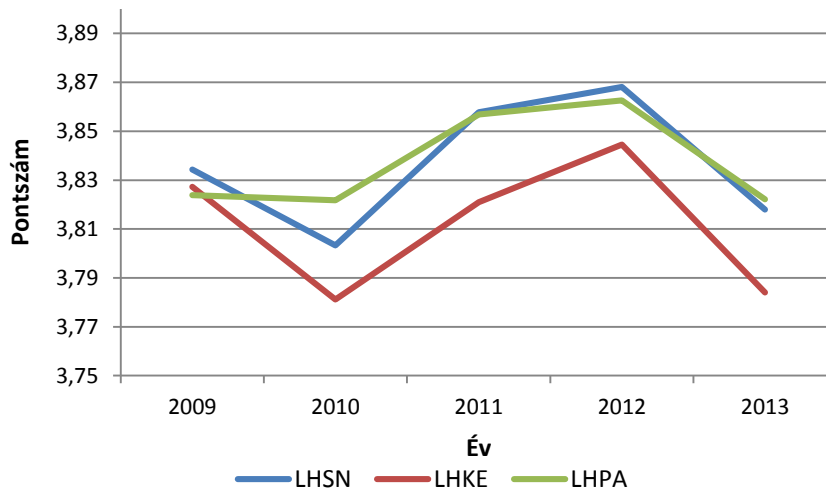
Dátum	Szél (°,kt)	Látástávolság (m)	Jelenidő	Leszállási előrejelzés	Pont (szél)	Pont (látástáv.)	Pont (jelenidő)
2009.07.23. 12:00	170, 6	≥ 10000	NSW	NOSIG	0,5	1	1
2009.07.23. 12:30	170, 8	≥ 10000	NSW	NOSIG	0,25	1	1
2009.07.23. 13:00	190, 8	≥ 10000	NSW	NOSIG	0	1	1
2009.07.23. 13:30	330, 10	≥ 10000	NSW	NOSIG	0,83	1	0,67
2009.07.23. 14:00	350, 11	≥ 10000	NSW	NOSIG	0,5	0,9	0,5
2009.07.23. 14:30	360, 11	≥ 10000	NSW	TEMPO 4000 TSRA	0,45	0,94	0,86
2009.07.23. 15:00	330, 10	≥ 10000	NSW	TEMPO 4000 TSRA	0,64	0,94	0,86
2009.07.23. 15:15	310, 11	≥ 10000	VCTS	-	-	-	-
2009.07.23. 15:21	310, 15	≥ 10000	-TSRA	-	-	-	-
2009.07.23. 15:30	280, 47	5000	TSRA SQ	TEMPO 1500 TSGR	0,1	1	0,19
2009.07.23. 15:31	280, 46	1500	+TSRA SQ	-	-	-	-
2009.07.23. 15:39	290, 31	5000	TSRA	-	-	-	-
2009.07.23. 15:40	280, 18	≥ 10000	-TSRA	-	-	-	-
2009.07.23. 15:43	280, 13	≥ 10000	VCTS	-	-	-	-
2009.07.23. 16:00	300, 9	≥ 10000	RETSRA	NOSIG	1	1	1
2009.07.23. 16:17	300, 14	≥ 10000	NSW	-	-	-	-
2009.07.23. 16:30	280, 14	≥ 10000	NSW	NOSIG	0,33	1	1

6. táblázat A prágai Václav Havel repülőtéren 2009. július 23-án 12:00–16:30 UTC között kiadott METAR és SPECI táviratokból kinyert szél és horizontális látástávolság értékek, jelenidők és leszállási előrejelzések, valamint az egyes elemek pontszámai.

A VERIFIKÁCIÓ EREDMÉNYEI

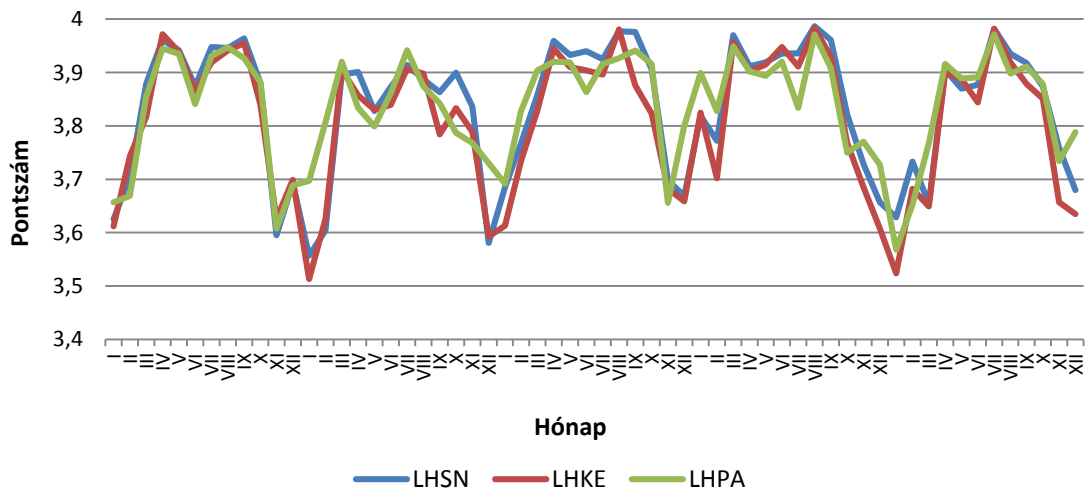
Bár jelen írás elsődleges feladata a leszállási előrejelzés bevalásának vizsgálatát segítő verifikációs program felépítésének bemutatása, ebben a fejezetben néhány, a pontszámokból készült statisztikát mutatunk be. A vizsgálatokat a három magyarországi katonai repülőtérré készítettük el:

- MH 86. Szolnok Helikopter Bázis (LHSN),
- MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis (LHKE) és
- MH Pápa Bázisrepülőtér (LHPA).



6. ábra leszállási előrejelzések éves átlagos összesített pontszámának alakulása 2009 és 2013 között.

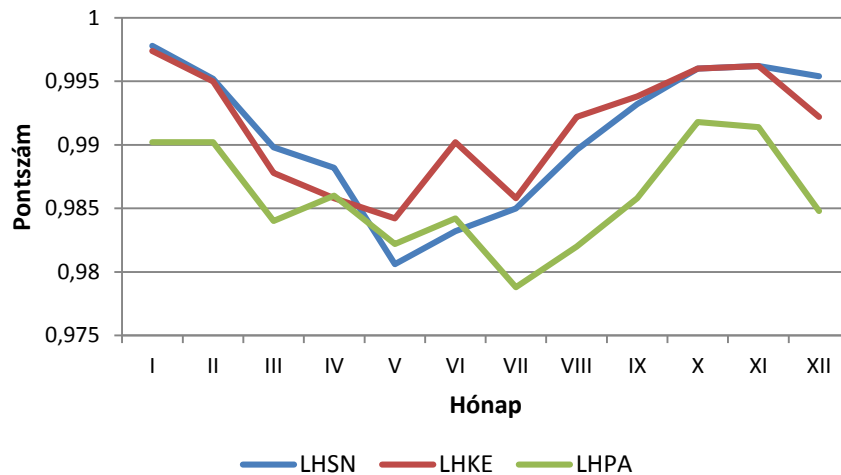
Miután a leírtak alapján előállítottuk az egyes leszállási előrejelzések a négy vizsgált időjárási elemre vonatkozó pontszámait, az előrejelzést az ezek összegeként adódó pontszámmal jellemezhetjük. Annak érdekében, hogy láthassuk az előrejelzések jóságának időbeli alakulását, kiszámítottuk a repülőterekre az egyes évek átlagpontszámait a 2009-től 2013-ig terjedő időszakra. Ennek eredményei a 6. ábrán láthatók.



7. ábra A leszállási előrejelzések havi átlagos összesített pontszámának változása 2009 és 2013 között.

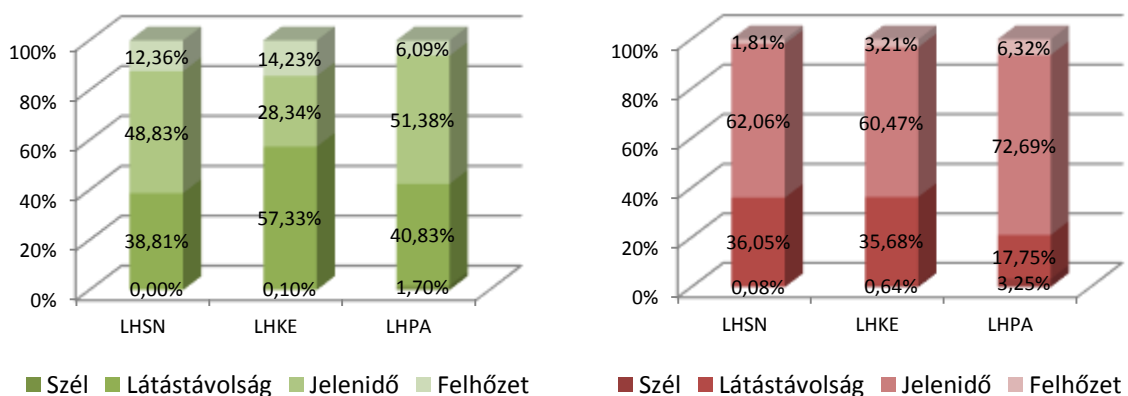
Az ábra alapján elmondható, hogy mindhárom repülőtér esetén 2010-ben a legkisebb és 2012-ben a legmagasabb az éves átlagos összesített pontszám. A repülőterek eredményeit tekintve észrevehetjük, hogy a szolnoki és a pápai repülőtér közel azonosan teljesít, Kecskemét pontszámai átlagosan 2,5 századdal alacsonyabbak.

A 7. ábrán a 2009-től 2013-ig terjedő időszak alapján az egyes repülőterekre képzett havi átlagos összesített pontszám látható. Általánosan elmondható, hogy míg nyáron a legmagasabb az előrejelzések bevétele, addig a téli hónapok prognózisai a leggyengébbek. A pontszámok menetét tekintve a tavaszi pontszámnövekedés után április-május környékén visszaesés figyelhető meg.



8. ábra A szélre vonatkozó leszállási előrejelzések havi átlagos pontszámának változása.

A látástávolságra, a jelenidőre, és a felhőzetre vonatkoztatott pontszámok az imént leírtakkal azonos menetet mutatnak. A szél átlagos havi pontszáma (8. ábra) az előzőekkel ellentétes, ugyanis nyáron a termékek képződése esetén a feláramló levegő kompenzáló áramlásai rövid időn belül képesek gyökeresen megváltoztatni a felszínközeli szél irányát és sebességét [5].



9. ábra A BECMG (bal oldali ábra) és TEMPO (jobb oldali ábra) változásjelző mellett előrejelzett elemek aránya, 2009 és 2013 között.

A 9. ábrán a nem NOSIG változásjelző csoportok után álló egyes előrejelzendő elemeknek az összes, adott változásjelző csoporttal készült előrejelzéshez viszonyított aránya látható a 2005 és 2013 közötti időszakra vonatkozóan.

Elmondhatjuk, hogy öt év alatt a repülőterek jellemzően a szél esetén használták a legkevesebbszer a NOSIG-tól eltérő változásjelző csoportot. Általánosan legtöbbször a jelenidő esetén vártak időszakos változásokat (TEMPO). Szolnok és Pápa a jelenidő esetén vártak legtöbbször folytonos változást (BECMG), amelyek aránya rendre 48,83% és 51,38%, egyedül Kecskemét esetében szerepel gyakrabban látástávolság a BECMG változásjelző mögött. Összességében elmondható, hogy Magyarország katonai repülőterein készült leszállási előrejelzésekben a NOSIG-tól eltérő változásjelző használata a látástávolság és a jelenidő esetén számottevő.

	BECMG			TEMPO		
	LHSN	LHKE	LHPA	LHSN	LHKE	LHPA
Szél	–	0,75	0,94	0,88	0,82	0,88
Látástávolság	0,62	0,72	0,74	0,61	0,69	0,68
Jelenidő	0,86	0,86	0,87	0,90	0,90	0,94
Felhőzet	0,93	0,79	0,55	0,63	0,51	0,59

7. táblázat Az egyes előrejelzendő elemek átlagos pontszáma nem NOSIG változásjelző kategóriák mellett az egyes repülőtereken.

Megvizsgáltuk, hogy egyes nem NOSIG változásjelzők mellett átlagosan hány pontot érnek az egyes elemek előrejelzései az adott repülőtereken (6. táblázat).

A táblázatból kiderül, hogy Szolnok repülőterén a 2009–2013-as időszakban BECMG változásjelző csoport mellett szélelőrejelzés nem történt. A minden repülőterén kevés szélelőrejelzésből Pápa BECMG melletti eredményei a legjobbak és Kecskemét BECMG melletti eredményei a leggyengébbek. A felhőzet tekintetében a szolnoki repülőterén készült a legkevesebb, ám átlagosan legjobb felhőzet előrejelzés a BECMG mellett, az átlagosan leggyengébb pedig Pápán a TEMPO mellett. Ha a BECMG melletti látástávolságokat vizsgáljuk, átlagosan Pápa jelzett előre legjobban, míg Szolnok leggyengébben, a jelenidőt tekintve nincs számottevő különbség a repülőterek között. TEMPO változásjelző csoport mellett a látástávolság előrejelzése Kecskeméten a legpontosabb, Szolnokon a legkevésbé, a felhőzet előrejelzése Pápán a legjobb, Szolnokon és Kecskeméten pedig azonos átlagpontszámúak.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen írás témáját adó leszállási előrejelzések az ultrarövid távú prognózisok egy olyan speciális esetét jelentik, amelyben az általános térbeli előrejelzésekkel szemben egy adott koordinátájú pont (repülőtér) jövőbeli időjárását fogalmazzuk meg. Ezen felül az időtáv, amin dolgozunk, a nowcasting feladatokon belül is rövidnek számít: 2 óra. Ez a két tulajdonsága adja elkészítésének főbb nehézségeit.

Magyarországon nincs fellelhető információ az ultrarövid távú előrejelzések bevalásáról, így jelen írás előzményeit jelentő diplomadolgozat elkészültéig a személy- és vagyonbiztonság, valamint a repülőtér gazdaságos üzemeltetése szempontjából oly fontos leszállási előrejelzések



pontosságáról sem készült átfogó vizsgálat. Emiatt merült fel az igény egy olyan időbeli pontosságra érzékeny pontozásos módszer elkészítésére, amely az ICAO Annex 3 által előírt pontossági követelményeken alapszik [3].

Ahhoz, hogy a leszállási előrejelzések bevalását érdemben javítani lehessen, érdemes első lépésként egy verifikációs módszert beépíteni az operatív munkába – amely eljárás előkészítése jelenleg folyamatban van –, ami által folyamatos, objektív visszajelzést kapnánk az előrejelzői munkáról. Az eredmények megfelelő értékelése után információval szolgálna az operatív gyakorlatba beépített nowcasting döntéstámogató rendszerek megbízhatóságáról, jóságáról, valamint támpontunk lenne abban, hogy ezek a rendszerek képesek-e jobban teljesíteni a helyi tapasztalat felhasználásával készült leszállási előrejelzéseknél.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk Kovács Adrián hadnagy úrnak, aki a jelenidő értékeléséhez használt pontozási táblázat elkészítésében volt segítségünkre és a módszer bizonyos hiányosságaira felhívta figyelmünket.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KATHY-ANN CAESAR CMO Terminal Aerodrome Forecast (TAF) Verification Programme (CMOTafV), Caribbean Meteorological Council – 47 St. Vincent, 2007 (online) url: <http://www.cmo.org.tt/Docs/CMC47/PDFs/Presentations/CMOTafV.pdf> (2015. 02.15)
- [2] POTOR ANITA Magyarországi repülőterek TAF előrejelzéseinek összehasonlító verifikációja. Budapest, 77 p., 2009.
- [3] ICAO Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation, Meteorological Service for International Air Navigation, 18th Edition, Montreal, 208 p., 2013.
- [4] GÜNTHER MAHRINGER Terminal aerodrome forecast verification in Austro Control using time windows and ranges of forecast condition. Meteorological Applications, 113–123, 2008.
- [5] HORVÁTH ÁKOS A légköri konvekció összetevői. In: A légköri konvekció, OMSZ, Budapest, 4–17 p., 2007.



Wantuch Ferenc¹ – Szobonya Nikoletta²

NWP OUTPUTOKRA ÉPÜLŐ AUTOMATIKUS REPÜLŐTÉRI TAF GENERÁLÓ RENDSZER HAZAI ALKALMAZÁSA³

Az automatikus TAF generáló rendszer kidolgozásának az a célja, hogy a repülőtéri prognózisok automatizálása Magyarországon is megvalósuljon a közeljövőben. A téma különlegessége az, hogy hazánkban eddig még nem tettek kísérletet a módszer kialakítására, viszont az eljárást a világ más helyein, már évek óta eredményesen alkalmazzák, de az alkalmazott módszerek nem publikusak. A cikkünkben szeretnénk bemutatni a kutatási eredményeinket és az általunk kidolgozott módszereket, amelyek alapján automatikusan készülnek a TAF táviratok. Az automatikus TAF táviratok a jövőben eredményesen hozzájárulnak a repülőtéri előrejelzések megbízhatóságának növekedéséhez, hiszen egy automatikusan előállított előrejelzés komoly segítséget nyújthat a szinoptikus munkájához.

AUTOMATIC TAF GENERATING SYSTEM BASED ON THE DEVELOPMENT OF THE NWP OUTPUT IN HUNGARY

The aim of the elaboration of the automatic TAF generating system is to support the automation of the airport forecast in Hungary in the immediate future. The speciality of the topic is the fact that in our country there were no attempt to develop the method up to now, while the procedure is already successfully used on the world's other places for years, but the applied methods are not public. We would like to present our research results and invented methods, which are used as the (automatic) basis of the TAF telegrams. The automatic TAF telegrams successfully contribute to the increase of the reliability of the airport forecast in the future, because an automatically produced forecast may provide serious help in the forecaster's work.

BEVEZETÉS

A cikkben először az eljárás megvalósításához szükséges alapvető repülésmeteorológiai információkat, repülési időjárás-jelentő (METAR), kiválasztott különleges időjárás-jelentő távirat (SPECI) és a repülőtéri előrejelzések (TAF) szerepét ismertetjük. A továbbiakban az általunk kidolgozott automatikus TAF generáló rendszer elveit, módszerét illetve alkalmazásának lehetőségeit szeretnénk ismertetni. A kapott eredményeket Dr. Wantuch Ferenc által [3] megvalósított METAR táviraton alapuló, a magyar honvédségnél operatíván futó verifikációs program segítségével elemeztük, amelynél az automatikus TAF és METAR valamint a meteorológus szakemberek által készített TAF előrejelzések és METAR táviratok beválását hasonlítjuk össze. [2] A kiértékelés során 24 órára szóló előrejelzésekkel dolgoztunk a budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtérre vonatkozóan, a 2014-es és 2015-ös évre.

Repülésmeteorológiai információk

A METAR és TAF táviratok kódolását az ICAO Annex 3 nemzetközi szabályozás [1] határozza meg, amely szerint a légi közlekedés részére biztosított meteorológiai szolgáltatás célkitűzése,

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

² ELTE Meteorológia Tanszék, szobonya90@gmail.com

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



az, hogy elősegítse a légi közlekedés biztonságát, hatékonyságát és rendszerességét. Így az aktuális időpontokban (fél óránként vagy óránként) végzett észleléseket és megfigyeléseket a METAR táviratba foglalják és továbbítják. A SPECI távirat kiadására csak akkor kerül sor, amikor a repülőtér üzemeltetését befolyásoló időjárási jelenségek lépnek fel. Az alábbiakban meghatározták az ICAO Annex3/WMO Technical Regulations ajánlásai alapján a SPECI távirat kiadásának kritériumait [4]:

- ha a levegő hőmérséklete a legutóbbi észlelés óta 2 °C -ot vagy annál többet emelkedett;
- ha az utolsó észlelés ideje óta a szélirány változása legalább 60 fok és a szél erőssége. a változás előtt és/vagy után eléri vagy meghaladja a 10 csomót;
- ha az utolsó észleléshez képest az átlagos szélerősség változása eléri vagy meghaladja a 10 csomót;
- ha az utoljára jelentetthez képest a lökések legalább 10 csomóval eltérnek, miközben az átlagos szélerősség a változás előtt vagy után eléri vagy meghaladja a 15 csomót;
- ha a szél úgy változik, hogy az befolyásolja a repülőtér működését;
- ha a látástávolság eléri vagy átlépi a 800, 1500, 3000, 5000 méteres határt. (Az 5000 méteres határ azokra a repülőterekre vonatkozik, ahol a látvarepülés szerinti repülési szabályok is érvényben vannak.);
- ha a pályamenti látástávolság eléri vagy átlépi a 150, 350, 600 vagy 800 méteres határt;
- ha az alábbi jelenségek bekövetkeznek, megszűnnek vagy intenzitásuk változik:
 - ónos csapadék;
 - túlhűlt köd;
 - közepes vagy erős intenzitású csapadék (ide értve a záporokat is);
 - jégtű;
 - alacsony por,-homok,-vagy hófúvás;
 - por,-homok- vagy hófúvás (ide értve a hóvihart is);
 - porvihar;
 - homokvihar;
 - zivatar (csapadékkal vagy csapadék nélkül);
 - szélroham;
 - felhőtölcsér (tornádó vagy víztölcsér);
- ha a 450 méter (1500 láb) alatti felhőzet (SKC), FEW vagy SCT mennyiségről BKN vagy OVC mennyiségre változik;
- ha a 450 méter (1500 láb) alatti felhőzet BKN vagy OVC mennyiségről SKC, FEW vagy SCT mennyiségre változik. Ha BKN vagy OVC mennyiségű felhőzet alapja eléri vagy átlépi a 30, 60, 150, 300 vagy 450 méteres határokat (100,200,500,1000 vagy 1500 láb). A 450 m-es küszöb csak azokra a repülőterekre vonatkozik, ahol sok a VFR repülés;
- ha függőleges látástávolság eléri vagy átlépi a 30, 60, 150 vagy 300 métert (100,200, 500 vagy 1000 láb).

A repülésmeteorológia TAF (Terminal Aerodrome Forecast) táviratokat meghatározott időben valamint időszakra kell kiadni, amely tartalmazza a talajszél, látástávolságot, aktuális időjárást, felhőzet jellemzőit, illetve ezen paraméterek egy- vagy több elemének szignifikáns változásait az időszak alatt. Az előrejelzések érvényességi ideje 9 és 24 óra között változik, így a 24 órára



szóló előrejelzést 6 óra elteltével lépnek érvénybe a kiadástól számítva. A 9 órára szóló előrejelzéseket 3 óránként, míg a 12 és 24 óra időtartamra szóló előrejelzéseket 6 óránként adják ki.

Az automata prognózis elvei, a módszer bemutatása

Az eljárás kidolgozásához és az általunk írt algoritmusok teszteléséhez a WRF modell alapadatit illetve az alapadatokra épülő utófeldolgozás adatait használtuk fel, amelyeket a HungaroControl-tól kaptunk meg. A szélirány, a szélesség, széllejtés, látástávolság, jelenidő, felhőzet mennyisége, felhőalap magasság, Cb felhőzet, csapadékmennyiség és hőmérsékletre vonatkozó adatok a budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtérre vonatkozóan 2014.08.01. 00 UTC-től állnak rendelkezésünkre, amelyeknél minden nap 00 UTC és 12 UTC futások szerepelnek.

Az automata prognózis megvalósításához és az algoritmusok teszteléséhez C programokat használtunk, amelyeknek az előnye az, hogy UNIX valamint LINUX rendszer alatt is le lehet fordítani és futtatni.

orak:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
szell:	200	200	200	170	150	150	160	180	190	190	190
szelseb:	01	01	01	01	02	02	01	02	03	04	05
szellok:	01	01	01	01	02	02	01	02	03	04	05
latas:	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
jelenido:	NSw	OZ	OZ	NSw	NSw	NSw	NSw	NSw	NSw	NSw	NSw
almenny:	OVC	OVC	NSC	NSC	NSC	NSC	NSC	NSC	NSC	NSC	OVC
alalap:	060	045	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	057	028
zretenny:	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
zretalap:	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
3retenny:	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
3retalap:	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
cb felho:	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
csapenny:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
hom:	4.8	4.2	3.4	3	2.2	2.4	3.6	5.5	7.2	8.5	9.4

1. ábra A programba beolvasott alapadatok

A program először a korábbiakban felsorolt meteorológiai paramétereket illetve a további részében a szélirány, a szélesség, széllejtés és a látástávolságra vonatkozóan írt algoritmusokat futtatja le. Miután ez a folyamat megtörtént és nem talált hibát a program, akkor a rendelkezésünkre álló adatok beolvasásával TAF táviratot generál külön file-ba. Az általunk készített programban az automatikus TAF táviratok jelenleg 24 órányi időtartamra szólnak, de ez a paraméter állítható. Az eljárásnak a jelentősége az, hogy bármikor elindítható és futtatható, így az aktuális időpontra rákövetkező órától, 24 órás TAF táviratokat generál a program. A meteorológiai szakemberek által kiadott (módosított repülőtéri előrejelzés) Amended TAF-ok, az automata TAF generáló rendszerrel is kivitelezhetőek.

A modell alapadatai 2014.08.01.00 UTC-től kezdődően, a 00 UTC és 12 UTC futtatásai elérhetőek, így ezeket a megfelelő beállítások során illetve a kívánt napra vonatkozóan bármikor módosíthatjuk és futtathatjuk.

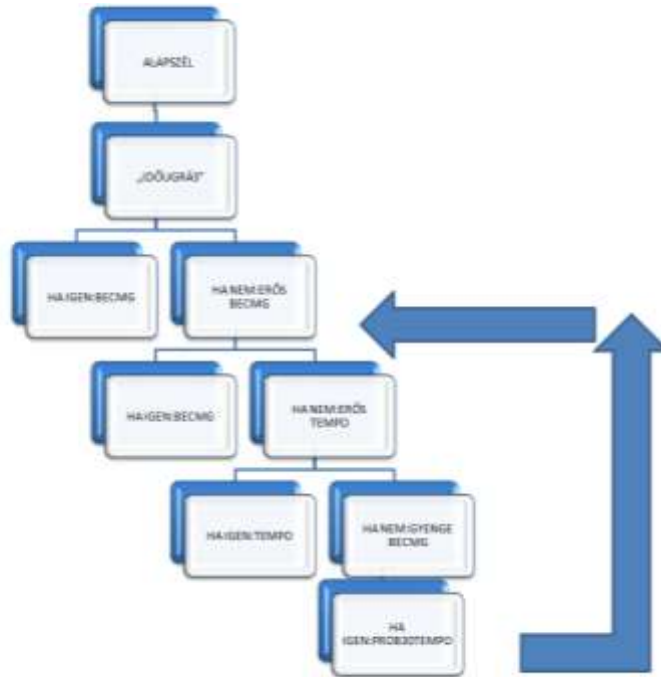
Az automata TAF táviratok generálásánál a kiindulási alapadatot, úgy határoztuk meg, hogy ha nincs szignifikáns eltérés és változást jelentő csoport a szélirány, szélesség, széllejtés és látástávolságra vonatkozóan, akkor az első értékeket átlagolja, és ezt írja bele a táviratba.

A szélkiértékelés során az algoritmusokat a következő szabályok szerint írtuk meg:

- szélirány, szélesség:
 - alapszél kiírása: a kiinduló értéket írja ki vagy az első 4 óra szél átlagát, (ez utóbbit akkor, ha a kezdő széladatok szórása nagy, vagy ha nagyon hasonló az első három széladat);

- szélcsend: ha a szélesebesség 24 órás időtartam alatt 0 KT;
- VRB03 KT: ha a szélirány a 24 órás időtartam alatt kisebb, mint 3 KT;
- ha a szélesebesség 4KT és 10KT közé esik, valamint a szélirány eltérés 60 foknál nagyobb, akkor az általunk kialakított szabály és módszer szerint a 360 fokot 8 részre osztottuk fel, és amelyikbe a legtöbb esik, azoknak az átlagos értéket fogja megadni;

A szélkiértékelés során az algoritmusok úgy lettek kialakítva, hogy a változásjelző csoportok (BECMG, TEMPO) között és az egyéb, általunk meghatározott szabályok és definíciók között ne legyen időbeli átfedés (2. ábra):



2. ábra: A szélkiértékelése vonatkozó döntési fa

- a BECMG és TEMPO változásjelző csoportok esetében először megvizsgáltuk, hogy folyamatos változás van-e;
- így ennek megfelelően a program futtatása során a „durvább” elemzéstől a finomabb vizsgálatig haladunk;
- időugrásos BECMG: a kiinduló értéktől számítva minden, pl.: 8. értéket vizsgálja a program. Ha ezek között szignifikáns eltérés van (szélirány 60 foknál nagyobb és szélesebesség 10 KT vagy nagyobb), akkor megvizsgálja az egyel előtte illetve utána lévő értéket. A táviratban az aktuális 8-as csoportból a 3. (i+3) időponttól fog kezdődni a változásjelző csoport és a (i+5) 8. értéket fogja a TAF táviratba kiírni. Ez a vizsgálat azért jelentős, mert a 24 órás TAF kezdőidőpontjától a végéig egész nagy, de ugyanakkor fokozatos, lassú változások is bekövetkezhetnek a szélirány és szélesebesség tekintetében egyaránt. Az így kialakított algoritmus szerint, meghatározott időintervallumban tudjuk lefedni és megvizsgálni a fellépő szignifikáns változásokat;
- erős BECMG: ha szignifikáns változás a kezdő időponttól kezdve fennáll, akkor csak időben előre három érték között nézi meg, hogy van-e szignifikáns változás (szélirány eltérés 60 foknál nagyobb és szélesebesség 10 KT vagy nagyobb). Ekkor a TAF táviratba a 3.(i+3) értéket fogja kiírni. Ha a szignifikáns változás nem áll fenn a kezdőidőponttól,

hanem csak a 3. órától, akkor a program az aktuális/kezdőidőponttól visszafelé és előre is megnézi a három érték között, hogy van-e szignifikáns változás (szélirány eltérés 60 foknál nagyobb és szélsébség 10 KT vagy nagyobb). Ekkor a TAF táviratba a 3.(i+3) értéket fogja kiírni. Ebben az esetben az algoritmust úgy határoztuk meg, hogy visszafelé nem, de előre teljesüljön a szignifikáns eltérés a 3 érték között;

- erős TEMPO: a program megvizsgálja, hogy három egymást követő érték között szignifikáns eltérés van-e (szélirány eltérés 60 foknál nagyobb és szélsébség 10 KT vagy nagyobb). Ha fennáll a változás akkor a 24 órás adatsort átlagoljuk és megnézi, hogy mennyire tér el a három értéktől. Amelyiknél a legnagyobb az eltérés a 24 órás adatsorhoz képest, annak az értékét fogja a táviratba kiírni. Ebben az esetben visszafelé nem, csak időben előre vizsgálja a program a változásokat;
- „Erős Ugrás” függvény definíciója: ha az egyik vagy másik szélsébség érték 10 KT vagy nagyobb, a szélirány 60 foknál nagyobb, akkor ezt a függvényt alkalmazza a program. Nyilván erre csak az erős BECMG és erős TEMPO változást jelző csoportok esetében történik alkalmazás;
- gyenge BECMG: ha szignifikáns változás a kezdő időponttól kezdve fennáll, akkor csak időben előre három érték között nézi meg, hogy van-e szignifikáns változás (szélirány eltérés 60 foknál nagyobb, vagy a szélsébség 10 KT-nál nagyobb). Ekkor a TAF táviratba a 3.(i+3) értéket fogja kiírni. Ha a szignifikáns változás nem áll fenn a kezdőidőponttól, hanem csak a 3. órától, akkor a program az aktuális/kezdőidőponttól visszafelé és előre is megnézi a három érték között, hogy van-e szignifikáns változás (szélirány eltérés 60 foknál nagyobb vagy a szélsébség 10 KT nagyobb). Ekkor a TAF táviratba a 3.(i+3) értéket fogja kiírni. Ebben az esetben az algoritmust úgy határoztuk meg, hogy visszafelé nem, de előre teljesüljön a szignifikáns eltérés a 3 érték között;
- GYENGE TEMPO: a program megvizsgálja, hogy három egymást követő érték közül egy vagy kettő szignifikáns eltérés van-e a „gyenge ugrás” függvény alapján. Ha fennáll a változás akkor a 24 órás adatsort átlagoljuk és megnézi, hogy mennyire tér el a három értéktől. Amelyiknél a legnagyobb az eltérés a 24 órás adatsorhoz képest, annak az értékét fogja a táviratba kiírni. Ebben az esetben visszafelé nem, csak időben előre vizsgálja a program a változásokat;
- „Gyenge Ugrás” függvény definíciója: Ha a szélsébség érték 10 KT vagy nagyobb vagy a szélirány esetében az eltérés 60 fok vagy nagyobb, akkor ezt a függvényt alkalmazza a program, de csak az gyenge BECMG és gyenge TEMPO változást jelző csoportok esetében kerül sor erre a függvényhasználatra;
- „Ugraserős” elnevezésű függvény definíciója: ha az egyik vagy másik szélsébség érték 10 KT vagy nagyobb és a szélirány esetében az eltérés 60 fok vagy több, akkor ezt a függvényt alkalmazza a program, de csak az erős BECMG és erős TEMPO változást jelző csoportok esetében. Ebben az esetben, ahol a szignifikáns eltérés van, ott az egyvel előtte illetve az egyvel utána lévő értékeket is összehasonlítja;
- pl.: A programban Gyenge TEMPO a PROB30 valószínűségi csoporttal egyenértékűnek határoztuk meg úgy, hogy 60 fok vagy nagyobb eltérés legyen a széliránynál



vagy legalább 10 KT eltérés legyen a szélességnél. Mindez csak akkor valósuljon meg, ha az egymást követő három órában valamelyik feltétel teljesül;

- széllokés:
 - a táviratban akkor lesz a lokésesség kiírva, ha az átlagszelet 10 KT-val meghaladja a széllokés, vagy ha a szél erőssége eléri azt az értéket, amikor már biztosan tartozik hozzá széllokés;
- látástávolság: a következő kategóriákat határoztuk meg az ICAO szabályozás [3] szerint:
 - ha végig 10 km feletti a látástávolság, akkor a táviratba CAVOK kerül;
 - ha a 4999 <és <9999 közötti kategóriába esik, a legtöbb érték akkor ezeket átlagoljuk;
 - ha a 2999 <és <4999 közötti kategóriába esik, a legtöbb érték akkor ezeket átlagoljuk;
 - ha a 1499 <és <2999 közötti kategóriába esik, a legtöbb érték akkor ezeket átlagoljuk;
 - ha a 799 <és <1499 közötti kategóriába esik, a legtöbb érték akkor ezeket átlagoljuk;
 - ha a 599 <és <799 közötti kategóriába esik a legtöbb érték akkor ezeket átlagoljuk;
 - ha a 349 <és <599 közötti kategóriába esik, a legtöbb érték akkor ezeket átlagoljuk;
 - ha a 149 <és <349 közötti kategóriába esik, a legtöbb érték akkor ezeket átlagoljuk;
 - ha 149 <akkor ezeket átlagoljuk.

A fentebb leírt módszer alapján, a kapott átlagokat további kategóriába soroljuk a következő eljárás alapján:

- ha a kapott átlag 999 <és <9999, akkor a program módosításainak megfelelően osztjuk, majd szorozzuk 1000-rel;
- ha a kapott átlag 99 <és <1000, akkor a program módosításainak megfelelően hozzáadunk, 50-et és osztjuk, majd szorozzuk 10-zel;
- ha az átlag 2500 <, akkor az átlaghoz 500-at hozzáadunk;
- ha a kapott átlag 1999 <és <4999, akkor a táviratban 3000 kerül kiírásra;
- ha a kapott átlag 1299 <és <2000, akkor a táviratban 1500 kerül kiírásra;
- ha a kapott átlag 699 <és <1300, akkor a táviratban 800 kerül kiírásra;
- ha a kapott átlag 499 <és <700, akkor a táviratban 600 kerül kiírásra;
- ha a kapott átlag 249 <és <500, akkor a táviratban 800 kerül kiírásra;
- ha a kapott átlag 250>, akkor a táviratban 150 kerül kiírásra;

A látástávolság kiértékelés során is az algoritmusok úgy lettek kialakítva, hogy a változásjelző csoportok (BECMG, TEMPO) között és az egyéb, általunk meghatározott szabályok és definíciók között szintén ne legyen időbeli átfedés:

- erős látás BECMG: ha szignifikáns változás a kezdő időponttól kezdve fennáll, akkor csak időben előre három érték között nézi meg, hogy van-e szignifikáns változás (ha az egymást követő értékek fentebb meghatározott kategóriák alapján nem ugyanabba esnek). Ekkor a TAF táviratba a 3.(i+3) értéket fogja kiírni. Ha a szignifikáns változás nem áll fenn a kezdőidőponttól, hanem csak a 3. órától, akkor a program az aktuális/kezdőidőponttól visszafelé és előre is megnézi a három érték között, hogy van-e szignifikáns változás (ha az egymást követő értékek fentebb meghatározott kategóriák alapján nem ugyanabba esnek). Ekkor a TAF táviratba a 3.(i+3) értéket fogja kiírni. Ebben az esetben az algoritmust úgy határoztuk meg, hogy visszafelé nem, de előre teljessüljön a szignifikáns eltérés a 3 érték között;

- erős látás TEMPO: a program megvizsgálja, hogy három egymást követő érték között vagy három szignifikáns eltérés van-e (ha az egymást követő értékek fentebb meghatározott látástávolság kategóriák alapján nem ugyanabba esnek). Ha fennáll a változás, akkor a 24 órás adatsort átlagoljuk és megnézi, hogy mennyire tér el a három értéktől. Amelyiknél a legnagyobb az eltérés a 24 órás adatsorhoz képest, annak az értékét fogja a táviratba kiírni. Ebben az esetben visszafelé nem csak időben előre vizsgálja a program a változásokat. A vizsgálat során arra is készült algoritmus, ha kettő változásjelző csoport összeér. Ez esetben, ha a TEMPO több mint 5 órára van kiadva, akkor a kettő csoport közül a két szignifikánsan eltérő érték átlagát írja ki a TAF táviratba;
- gyenge látás TEMPO: a program megvizsgálja, hogy három egymást követő érték közül egy szignifikáns eltérés van-e (ha az egymást követő értékek fentebb meghatározott látástávolság kategóriák alapján nem ugyanabba esnek). Ha fennáll a változás, akkor a 24 órás adatsort átlagoljuk és megnézi, hogy mennyire tér el a három értéktől. Amelyiknél a legnagyobb az eltérés a 24 órás adatsorhoz képest, annak az értékét fogja a táviratba kiírni. Ebben az esetben visszafelé nem, csak időben előre vizsgálja a program a változásokat;
- „Ugraslateros” függvény: ha az egyik vagy másik látástávolság érték fentebb meghatározott látástávolság kategóriák alapján nem ugyanabba a kategóriába esnek, akkor ezt a függvényt alkalmazza a program, de csak az erős BECMG és erős TEMPO változást jelző csoportok esetében. Ebben az esetben, ahol a szignifikáns eltérés van, ott az eggyel előtte illetve az eggyel utána lévő értékeket is összehasonlítja annak érdekében, hogy megállapítsa, hogy valóban az adott változási csoport használata indokolt-e.

A verifikációs programmal végzett eredmények kiértékelése

A munkánk során, a fentebb említett alapadatok a programban beolvasásra kerültek. Ezek közül a szélirány, a szélesebség, szellőkés és a látástávolságra vonatkozóan valósítottuk meg a fentebb ismertetett algoritmusokat, amelyek végül kiértékelésre is kerültek

A következőkben, az általunk kidolgozott automatikus TAF generáló rendszer eredményeit szeretnénk ismertetni. Az értékeket a bevezetőben említett verifikációs programmal végeztük, amelynél az automatikus TAF valamint a meteorológus szakemberek által készített TAF előrejelzési táviratok bevilását hasonlítjuk össze.

A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtéren naponta 4 hosszabb, 24 órás érvényességi idejű TAF táviratot adnak ki. A repülőtérre vonatkozóan 2014.08.01. 00 UTC-től állnak rendelkezésünkre adatok, így az általunk legenerált TAF táviratok összehasonlításra kerülnek repülőtéri előrejelzésekkel, így ettől az időszaktól kezdődően vizsgáltuk és értékeltük ki az egyes meteorológiai paramétereket.

Számos tesztelést és vizsgálatot végeztünk munkánk során, így e cikkben csak 1-1 kiválasztott napot valamint egy hosszabb periódus kiértékelését szemléltetjük.

A következőkben a 2014. 10. 22-én 06 UTC-től 2014. 10.23.06 UTC-ig érvényes TAF táviratot hasonlítottuk össze az általunk legenerált TAF távirattal, amelyeket az 1 táblázatban láthatunk.



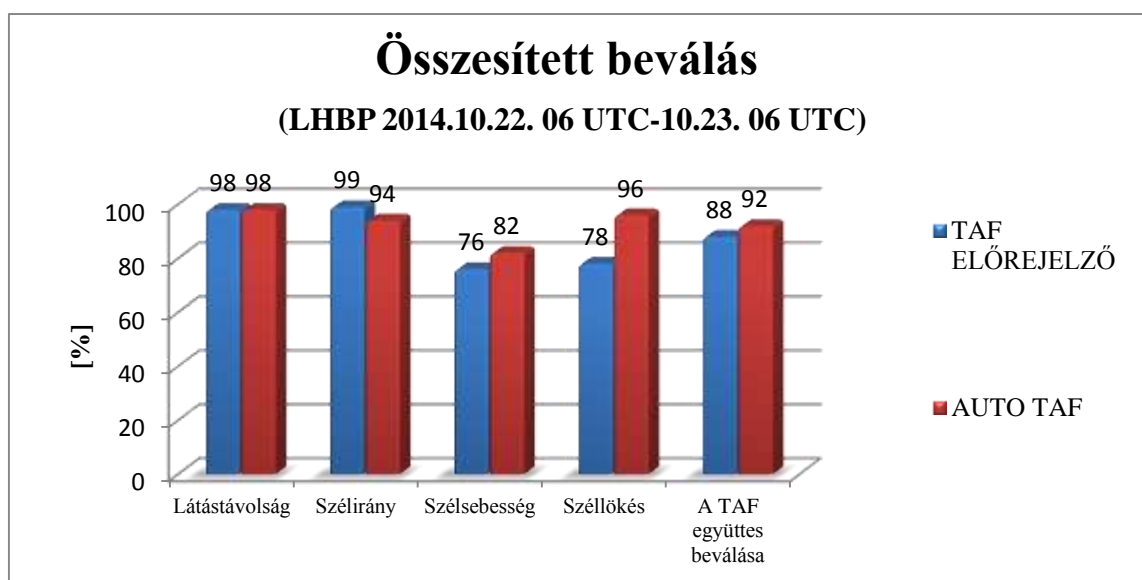
A kiértékelés verifikációs program alkalmazásával és ez eredmények kiértékelésénél csak a látástávolságot, a szélirányt, a szélességet és a szélőkést vettük figyelembe és ezekre a paraméterekre vizsgáltuk a beválási értéket.

```
LHBP 220500Z 2206/2306 30014KT 8000 -RA SCT010 BKN025 OVC060 TEMPO 2206/2208  
4000 RA BR BKN006 OVC030 TEMPO 2208/2216 30020G33KT BECMG 2208/2211 9999 NSW  
BKN030 BKN070 TEMPO 2211/2306 -SHRA BKN020 BECMG 2219/2222 30008KT=
```

```
AUTO TAF LHBP 221100Z 2212/2312 33025G35KT 9999 BECMG 2212/2215 32008KT=
```

1. táblázat Az előrejelzők által írt TAF és az AUTO TAF távirat (2014.10.22.06 UTC-től 10.23.06 UTC-ig)

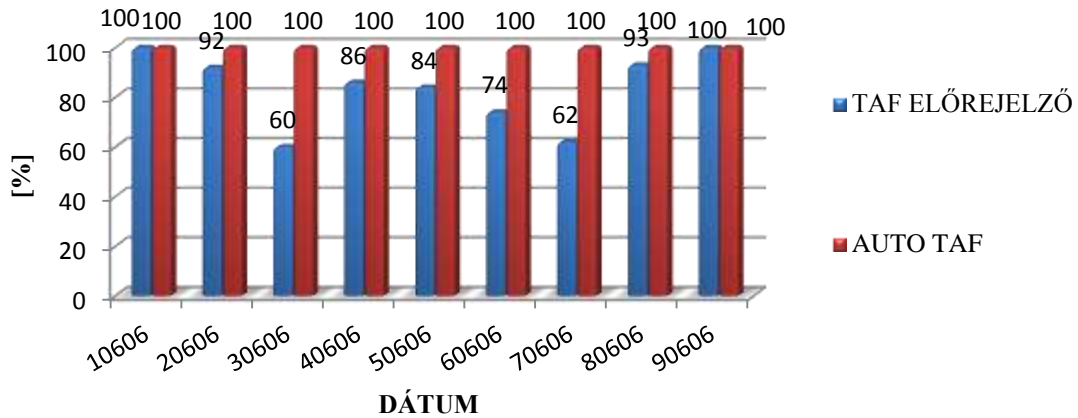
Az 3. ábrán az egyes meteorológiai paraméterekre vonatkozó beválásokat, valamint a meteorológiai szakemberek által írt és az általunk legenerált TAF távirat összesített beválását láthatjuk. A diagramon megfigyelhető, hogy az automatikus TAF táviratok a látástávolság és a szélirány esetében közel egyforma beválási értékeket produkálnak, mint az előrejelzők által írt táviratok. A szélesség és a szélőkés tekintetében a beválási értékek nagyobb mértékben eltérnek és az általunk legenerált TAF táviratok jobb eredményeket értek el. Az összesített együttes beválásnál az automatikus TAF 92%, míg az előrejelzők által írt táviratok 88%-os beválási értéket mutatnak.



3. ábra 2014.10.22.06UTC-10.23.06 UTC TAF és AUTO TAF táviratok összesített beválása

Egy hosszabb, 9 napos időszak vizsgálata során az előző esethez hasonlóan, ugyanezeket a paramétereket vetettük össze a két előrejelzés tekintetében. A verifikációs programban a TAF táviratokat 2014.08.01.-től 2014.08.09. futattuk le, amelyeknél a 06 UTC-s, 24 órás táviratok kerültek vizsgálat alá. A 4. ábrán jól látható, hogy a szélirány kiértékelés estében a legrosszabb beválások TAF és az automata TAF esetében is közel egyforma eredményeket produkálnak a 6. napon.

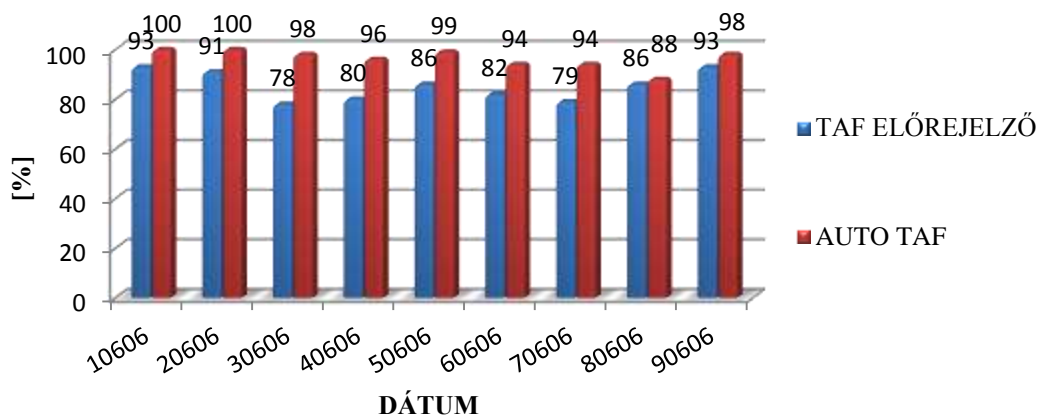
Szellőkés kiértékelés (2014.08.01.-2014.08.09.)



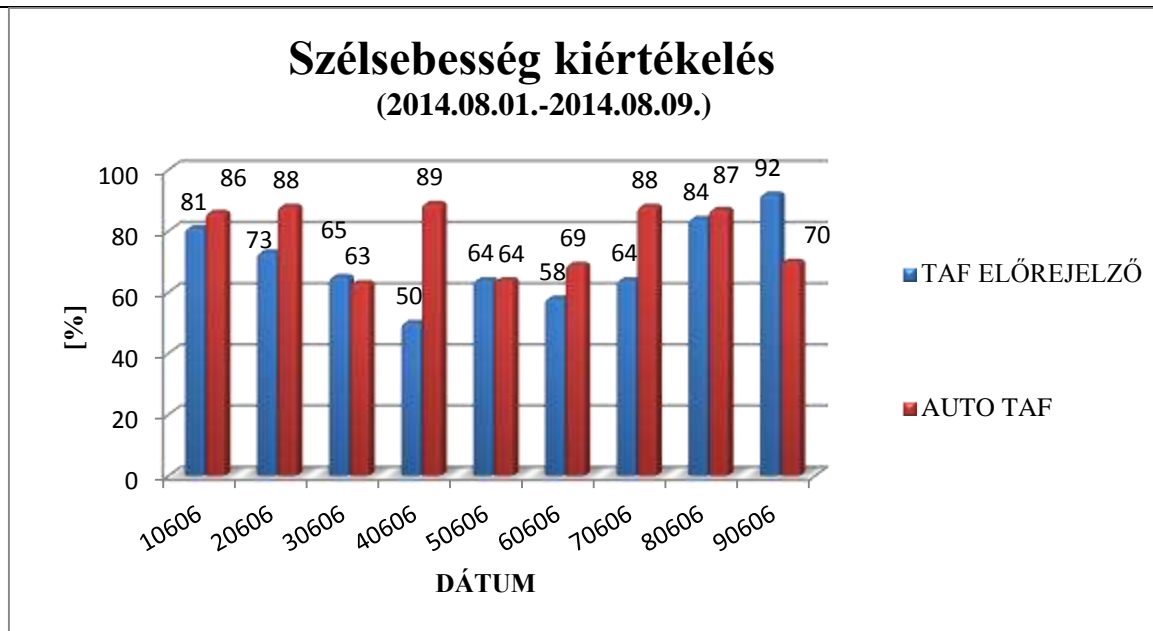
4. ábra: Szellőkés kiértékelés

A kiértékelésre került időszakban a látástávolságra vonatkozó eredményeknél, kivétel nélkül az általunk legenerált automata TAF táviratoknak volt jobb beválási mutatója. A legjobb beválásokat 5. ábrán láthatjuk, amelynél az esetek nagy részében 90% feletti értékeket olvashatunk le.

Látástávolság kiértékelés (2014.08.01.-2014.08.09.)



5. ábra Látástávolság kiértékelés



6. ábra Szélesség kiértékelés

A 6. ábrán láthatjuk a szélesség kiértékelést, amelynél már változatosabb eredményeket kaptunk. Az esetek nagy részében 80% feletti beválási értékek születtek az automata TAF-ok esetében, amely az előző paraméterhez hasonlóan jobb eredményeket mutat, mint a meteorológus szakemberek által írt táviratok.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredményeink azt mutatják, hogy az automatikus TAF generáló közel egyforma vagy jobb beválási értékeket mutat. Ennek megfelelően a közeljövőben az eljárás sikeresen alkalmazható a repülőtéri előrejelzésekben és ezzel egyúttal segítheti az előrejelzők munkáját. Természetesen a módszerünkben és a modell adatokban is ugyanúgy előfordulhatnak hibák, mint a meteorológus szakemberek által elkészített TAF táviratokban. A továbbiakban célul tűztük ki, a jelenidő, felhőzet mennyisége, a felhőalap magasság valamint a Cb felhőzet kiértékelését, az ismertett eljárásokhoz hasonló logikai szerkezetben.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SÁNDOR VALÉRIA, WANTUCH FERENC 2005: Repülésmeteorológia. Tankönyv pilóták és leendő pilóták számára, Folium Nyomda, ISBN 963 7702 91 1 Második javított kiadás
- [2] DR. WANTUCH FERENC: Repülésmeteorológiai előrejelzések beválásának automatikus kiértékelése katonai repülőtereken. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2008.
- [3] Watuch, F., Potor, A., 2009: A magyarországi repülőterek TAF előrejelzéseinek összehasonlító verifikációja. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2009.
- [4] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO): Meteorological Service for International Air Navigation, Sixteenth Edition, July 2013.

Németh Péter¹ – Simon Sándor²

SKYWALKER X8-AS PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP TELJESÍTMÉNY SZÁMÍTÁSA³

Napjainkra egyre jobban elterjedtek a pilóta nélküli légjárművek, amelyek a legkülönbözőbb feladatok ellátására alkalmasak. Ezekre a járművekre éppúgy, mint a légitörleskedés többi szereplőjére, a légitörleskedési jog szabályai érvényesek. Dolgozatomban egy Skywalker X8-as pilóta nélküli légitörleszkű aerodinamikai- és repülésmechanikai számításait végeztem el. Megvizsgáltam a pilóta nélküli repülőtörleszkű jogi környezetét, meghatároztam az üzemeltetési feltételeket, valamint megismertem a hatósági engedélyezés menetét. A számítási módszer a későbbiekben felhasználható különböző típusú pilóta nélküli repülőtörleszkű hatósági tanúsításához szükséges számítások elkészítéséhez.

CALCULATING THE PERFORMANCE OF THE SKYWALKER X8, AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Nowadays, unmanned aerial vehicles are becoming more and more widespread, and are also capable to perform a wide variety of tasks. The rules of aviation law apply to these vehicles just as much as to all the other vehicles in the air transport. In my thesis, I performed aerodynamic and flight mechanic calculations for the Skywalker X8, an unmanned aerial vehicle. I examined the legal environment regarding unmanned aerial vehicles, determined the conditions of operation, and I also became familiar with the official authorization process. This calculation method can be used in the future for calculations that are needed for the official certification of different types of pilotless planes.

BEVEZETÉS

Számítás célja

„A légitörleskedési hatóság, az állami célú légitörleszkűvel összefüggő feladatok tekintetében a katonai légitörleszkű hatóság engedélyével repülhet a magyar légtérben az a légitörleszkű, amely vezető nélküli repülésre alkalmas, továbbá a jogszabályban meghatározott repülőtörleszkűmodell, illetve repülőtörleszkű.” [1]

A fenti idézet a 1995. évi XCVII. törvényből való, amely kimondja, hogy egy vezető nélküli légitörleszkűnek is rendelkeznie kell a légitörleszkű hatóság engedélyével, ahhoz hogy a magyar légtérben („A magyar légtér az országhatár által körbezárt terület feletti légtérnek a légitörleszkű számlára fizikailag igénybe vehető magasságig terjedő része.” [1]). repülés céljára igénybe vegye.

Napjainkban egyre többen használnak pilóta nélküli repülőtörleszkűeket, legyen szó akár kedvtelésből végzett úgynevezett hobbirepülésről, akár tudományos rendeltetésűről, sőt egyre több Magyarországon működő vállalkozás is használ ilyen szerkezeteket kereskedelmi/üzleti vagy

¹ Járműmérnök hallgató, BME, peter.nemeth@hotmail.com

² Hatósági mérnök, simon.sandor@nkh.gov.hu

³ Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, NKE Katonai Repülőtörleszkű Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

egyéb célra. Ezek irányítása történhet manuálisan, ilyen esetekben leggyakrabban modellrepülőkről beszélünk, vagy autonóm módon, ilyenkor használható az UAV⁴ kifejezést.

Jelen tanulmány témája egy Skywalker X8-as pilóta nélküli repülőgép aerodinamikai és repülésmechanikai számítása, olyan formában, amely a későbbiekben alkalmas lehet egy légügyi hatósági tanúsítási eljárás keretében a szükséges engedélyek megszerzésére, amely birtokában a jármű biztonságos és jogszerű formában végezhet akár kereskedelmi/üzleti célú repüléseket is.

SKYWALKER X8-AS PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP

Skywalker X8 bemutatása és adatai

Az általam választott és vizsgált csupaszárny kialakítású pilóta nélküli robotrepülőgép egy Skywalker X8-as, mely kül- és belföldön egyaránt igen népszerű a felhasználók körében. A csupaszárny kialakítás miatt nem rendelkezik fékszárnyval, függőleges- és vízszintes vezérsíkokkal, kormányzása az elevonok mozgatásával valósul meg. A kínai gyártmányú repülő öntött EPO (Expanded PoliOlefin), amely egy kiváló minőségű habanyag, a modell célú repülőgépek kedvelt alapanyaga. A repülőeszköz fő- és segéd tartója kör keresztmetszetű karbon cső, mely a kellő szilárdságot biztosít, illetve a - leggyakoribb konstrukciós megoldás szerint - toló légcsavaros, melyet villanymotor hajt meg. A jármű vezérlése rádió távirányítással (RC) vagy autonóm módon emberi irányítás nélkül történik (robotpilótával).



1. ábra Skywalker X8

Skywalker X8 legfontosabb adatai [2]:

- szárnyfeszítávolság: (b) 2120 mm
- szárnyfelület: ($S_{\text{szárny}}$) 80 dm²
- maximális tömeg: (m_{TOW}) 3,2 kg

A fent definiált adatok minden Skywalker X8-asra érvényesek, azonban a felszereltsége (motor,

⁴ Unmanned aerial vehicle magyarul: pilóta nélküli légi jármű

szabályozó, akkumulátor, stb.) változhat a felhasználó igényei és anyagi erőforrásai szerint. A légi jármű engedélyezési folyamat szempontjából fontos mind az általános Skywalker X8-as légi jármű vizsgálata, ugyanakkor az egyedi légi alkalmassági vizsgálat szempontjából meg kell határoznunk az általunk használt légi jármű felszereltségét.

Az általam számított UAV felszereltsége a következő:

- motor: NTM Prop Drive Series 35-42 Series 1000 kV [3]
- szabályozó: Turnigy Trust 70A SBEC [4]
- akkumulátor: Turnigy nano-tech 8400mah 3S 40~80C [5]
- légszár: APC 12×6 [6]

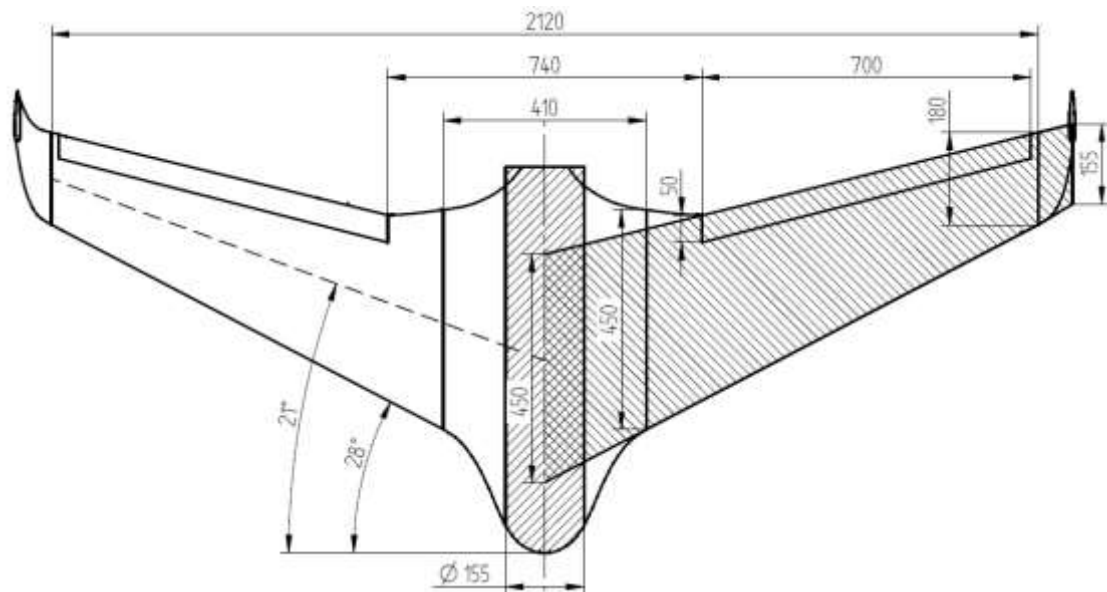
A többi, általam felhasznált adatot a légi jármű fotói és mérés alapján definiáltam.

Skywalker X8-as legfontosabb paraméterei

A légi jármű aerodinamikai és repülésmechanikai számításai előtt szükséges mértékben egyszerűsíttem a geometriai jellemzőket, ugyanis Skywalker X8 bonyolult geometriai alaprajzú megoldása miatt, manuális számításokra eredeti állapotában nem alkalmas.

A szárny geometriája [2]

A szárny legtöbb méretét méréssel sikerült meghatározni, a nem mérhető vagy általam nem ismert geometriai adatokat becsléssel állapítottam meg.



2. ábra Skywalker X8 felülnézete

A szárny geometriai adatai:

- fesztávolság (b): 2120 mm
- felület ($S_{\text{szárny}}$): $700000 \text{ mm}^2 = 0,7 \text{ m}^2$ (egyszerűsítés után)
- nyílazási szöge (Λ_{LE}): 28°
- nyílazási szöge a húr 50%-nál ($\Lambda_{1/2c}$): 21°
- húr hossz (c_t): 465 mm = 0,465 m
- húr hossz (c_r): 155 mm = 0,155 m
- profil típusa: MH 61 (becslés)



- szárnytó beállítási szöge (i_r): 2° (becslés)
- geometriai elcsavarás szöge (ϵ_t): -2° (becslés)
- V-beállítási szöge (Ψ): 0°
- trapézviszony [7] (Λ): 0,3333
- geometriai húrhossz [7] (cg): 0,3255 mm
- karcsúság [7] (AR): 6,5136

A törzs geometriai kialakítása és adatai [2]

A törzset áramvonalas hengerré egyszerűsítettem le. Külső részén a kamera, belül pedig az akkumulátorok, a motor és szabályzó helyezhető el.

A törzs geometriai adatai:

- felülete ($S_{\text{törzs}}$): $116000 \text{ mm}^2 = 0,116 \text{ m}^2$
- szélessége: $410 \text{ mm} = 0,41 \text{ m}$
- hossza: $790 \text{ mm} = 0,79 \text{ m}$
- átmérője ($D^c_{\text{törzs}}$): $155 \text{ mm} = 0,155 \text{ m}$ (egyszerűsítés után)
- keresztmetszete ($S^c_{\text{törzs}}$): $0,0189 \text{ m}^2$ (egyszerűsítés után)
- karcsúság [7] ($\Lambda_{\text{törzs}}$): 4,9677
- nedvesített felülete [7] ($S_{\text{nedv.törzs}}$): $0,2875 \text{ m}^2$

Skywalker X8 aerodinamikai számításai

A tengerszinti magasságán [8] számítjuk ki az repülőgép aerodinamikai paramétereit, mivel alkalmazása során főként alacsony magasságon végez repülést.

$c_l - \alpha$ görbe meghatározása [7] [9]

A felhajtóerő-tényező meghatározása illetve állásszögtől való függésének megismerése fontos, ahhoz, hogy pontos képet kapjunk a repülőgép repülési tulajdonságairól. A maximális felhajtóerő tényező definiálása, az átesési állásszög megismerése és az átesési sebesség meghatározása mind szükségesek, ahhoz, hogy a légijármű repülési tulajdonságait megfelelően pontosan megismerjük.

Maximális felhajtóerő-tényező meghatározása [7]

A számítás elvégzése előtt meg kell, határozzuk a szárnyra (és profilra) érvényes Reynolds szám értékét:

$$Re_{\text{szárny}} = \frac{v_0 \cdot c}{\nu_0} = 4,9605 \cdot 10^5 \quad (1.1)$$

A maximális felhajtóerő-tényező értéke a következőképpen számítható:

$$c_{lmax} = c_{Lprmax} \cdot c_{Lmax\Lambda} \cdot k_\lambda \quad (1.2)$$

A profil és a Reynolds szám ismeretében, a szárnyprofil karakterisztikáinak felhasználásával definiálni tudjuk a profilhoz tartozó maximális felhajtóerő-tényező értékét.

- Maximális felhajtóerő-tényező a profilra [10] (c_{Lprmax}): 1,25



A modell méretű repülőgépeire jellemző az alacsony Reynolds szám, mely jelentősen befolyásolja a maximális felhajtóerő-tényező értékét. Ebben a Reynolds szám tartományban körülbelül 1,2–1,4 körüli maximális felhajtóerő-tényezővel számolhatunk. Ezt a számítás során figyelembe kell venni.

A $c_{Lmax\Lambda}$ tényezővel a szárny nyílazása miatt kialakuló felhajtóerő-tényező változást vesszük figyelembe, értéke a következő összefüggés szerint számítható:

$$c_{Lmax\Lambda} = \frac{1+\cos(\Lambda)}{2} = 0,9415 \quad (1.3)$$

A szárny trapéz alakját a k_Λ tényezővel vesszük figyelembe, melynek értéke esetünkben 0,93. [7]

A maximális felhajtóerő tényező (c_{lmax}) értéke a 1.2-es egyenletbe való behelyettesítés után $c_{lmax}=1,094$

$c_l - \alpha$ görbe kiszámítása [7] [9]

A számítás során a különálló szárnyra határozzuk meg a $c_l - \alpha$ görbét, ezért úgy tekintjük, hogy csak a szárny termel felhajtóerőt. A felhajtóerő tényező az állásszög függvényében az alábbi képlet alapján határozható meg:

$$c_l = c_{l0} + c_l^\alpha \cdot \alpha + c_l^\delta \cdot \delta_e \quad (1.4)$$

Az egyszerűsítések miatt a számítás során a c_{l0} és a $c_l^\delta \cdot \delta_e$ értéke nulla. A felhajtóerő tényező tehát az alábbi összefüggés szerint változik, amely a görbe lineáris szakaszában igaz:

$$c_l = c_l^\alpha \cdot (\alpha - \alpha_0) \quad (1.5)$$

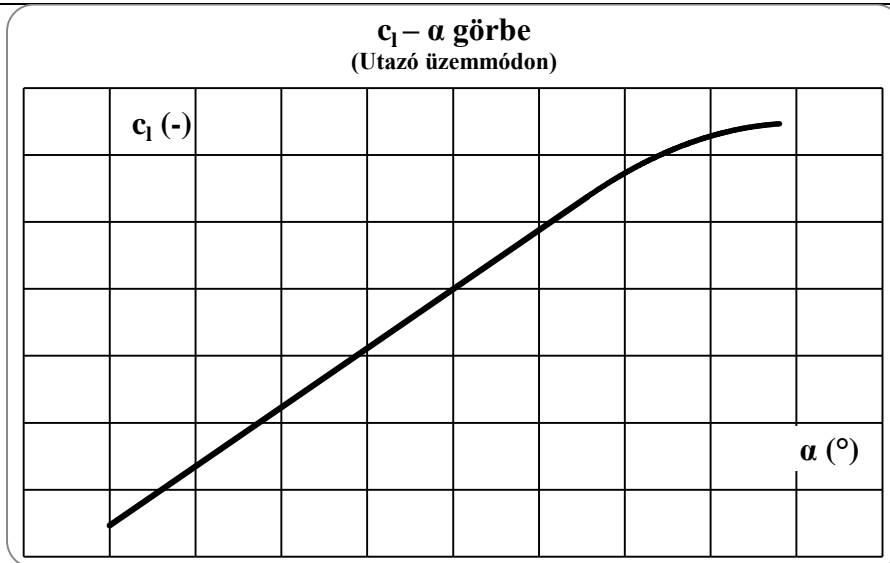
A fenti összefüggés alapján az α értéke a távoli meg fúvás és a törzs építési vízszintese (továbbiakban: TÉV) által bezárt szög.

A α_0 értéke, amely a TÉV és a nulla felhajtóerő tényezőhöz tartozó vonal (ZLL-Zero Lift Line) által bezárt szög a következő összefüggés alapján határozható meg:

$$\alpha_0 = -i_r + \alpha_{0r} + k_e \cdot \varepsilon_t \quad (1.6)$$

amelyben a ZLL és a húr által bezárt szög $\alpha_{0rw} = -1,5^\circ$, a korrekciós tényező értéke $k_e = 0,4$ ami a szárny elcsavarásából adódó szögeltérést korrigálja. Ezen adatok ismeretében az α_0 értéke $-3,486^\circ$. A c_l^α értéke 4,069 [7].

A függvény azonban a $c_l - \alpha$ görbének csak a lineáris szakaszát tudja megfelelően leírni. Az átesési közelében létrejövő hirtelen állásszög változás a 1.5 egyenlet alapján nem határozható meg. A $c_l - \alpha$ görbét a maximális felhajtóerő tényező 80%-os értékéig lineárisan, az 1.5 egyenlet alapján definiáljuk, 80% felett egy érintő görbével közelítjük egészen addig, amíg el nem írjuk a maximális felhajtóerő tényező értékét. Ezáltal létrejön egy $\Delta\alpha$ szög eltérés, amely mindössze néhány fok ($1-2^\circ$), ezért számításaink során elhanyagolható [7].



3. ábra $c_l - \alpha$ görbe

$c_l - c_d$ görbe meghatározása [7] [9]

A $c_l - c_d$ görbe vagy más néven poláris a repülőgépek egyik, ha nem a legfontosabb görbéje. A görbe ismerete nélkülözhetetlen ahhoz, hogy pontosan megismerjük a repülőgép aerodinamikai adottságait, repülési tulajdonságait. A Skywalker X8-as modell polárisát számítással határozzuk meg, de természetesen meghatározható szélcsatorna kísérletekkel vagy számítógépes szimulációs szoftverekkel is. A számítás során kiszámítjuk az egyszerűsített repülőgép szárnyára és törzsére az ellenállás tényező értékét.

Az ellenállás alapösszefüggése:

$$c_d = c_{d0} + c_{di} + \Delta c_d \quad (1.7)$$

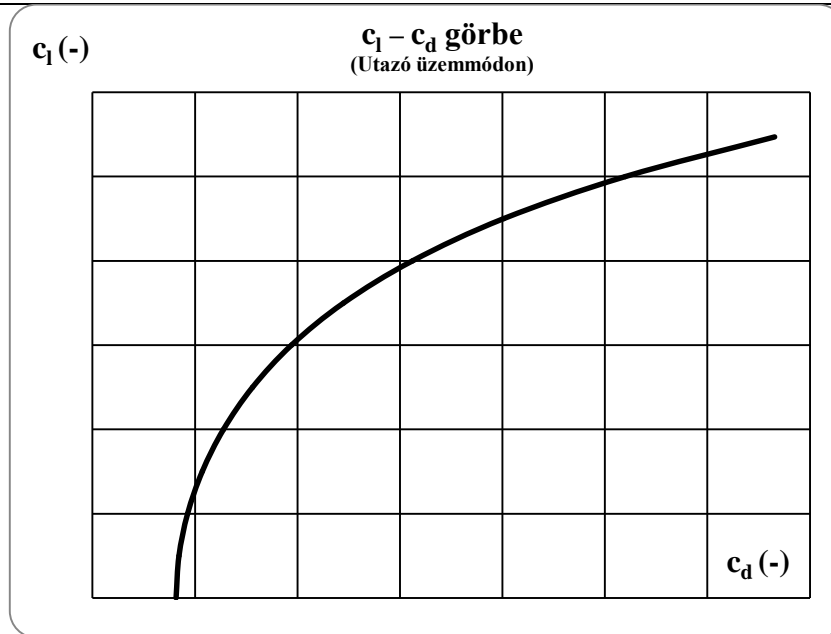
A c_{d0} tényező tartalmazza a szárny, törzs és a winglet ellenállás tényezőjét, amely összege 0,016496. [9] Az indukált ellenállás az alábbi összefüggés alapján számíthatjuk:

$$c_{di} = \frac{c_l(\alpha)^2}{\pi \cdot A R_{eff}} \quad (1.8)$$

A Δc_d veszi figyelembe az állásszög változás miatti ellenállás növekedés megváltozását az alábbi összefüggés alapján:

$$\Delta c_d = \frac{\bar{c}_l^5}{20} \quad (1.9)$$

Az ellenállás tényező ismeretében ábrázolható a repülőgép polárisa.



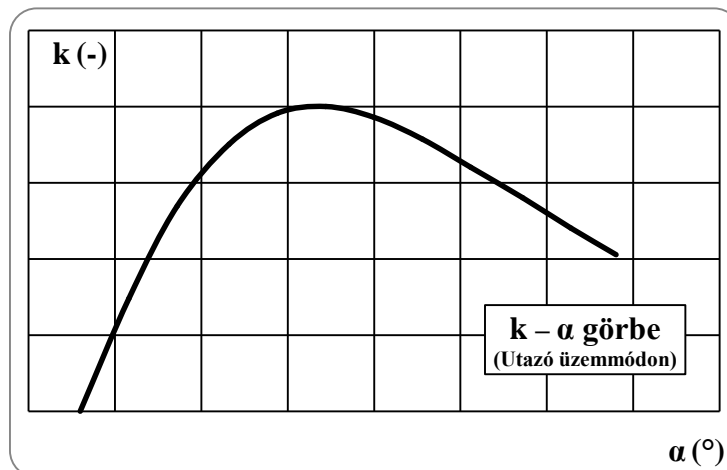
4. ábra $c_l - c_d$ görbéje

Aerodinamikai jóság meghatározása [11]

Az aerodinamikai jóság meghatározása az alábbi összefüggés alapján történhet:

$$k = \frac{c_l}{c_d} \quad (1.10)$$

Az aerodinamika jóságát ábrázolhatjuk az állásszög, illetve a felhajtóerő tényező függvényében is. Jelen esetben az állásszög függvényében ábrázoljuk.



5. ábra Az aerodinamikai jóság az állásszög függvényében

Átesési sebesség meghatározása

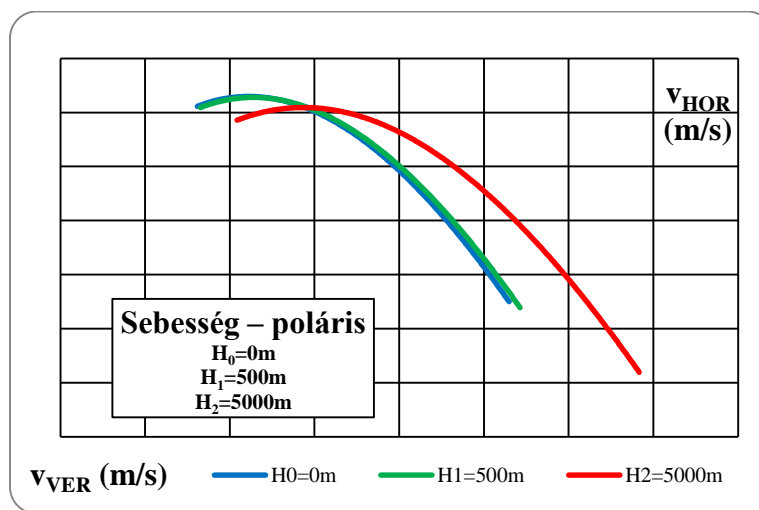
A Skywalker X8-as repülőgép esetében is - a repülés és a leszállás biztonsága szempontjából - fontos meghatározni azt a kritikus sebességet, amikor még ébred felhajtó erő a szárnyon. Ez, az alábbi összefüggés alapján lehetséges:

$$v_{\text{átesési}} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{\text{TOW}} \cdot g}{\rho \cdot c_{l\text{max}} \cdot S_{\text{szárny}}}} = 8,2161 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 29,578 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad (1.11)$$

Sebesség – poláris meghatározása [9][12]

Abban az esetben, ha a Skywalker X8-as repülő akkumulátora lemerül, vagy bármilyen egyéb ok miatt megszűnik a tolóerő létrehozása, a repülőgép siklórepülésben még folytathatja a repülést és biztonságosan földet érhet. Ezt, repülésbiztonsági megfontolásból kell vizsgálni, mert a repülés, reptetés nem veszélyeztetheti sem az emberek sem az épített környezet épségét, biztonságát. A sebesség – polárist három különböző magasságra határoztam meg, amelyek a görbék magasságtól való függését hivatottak bemutatni. (0 m, 500 m, 5000 m)

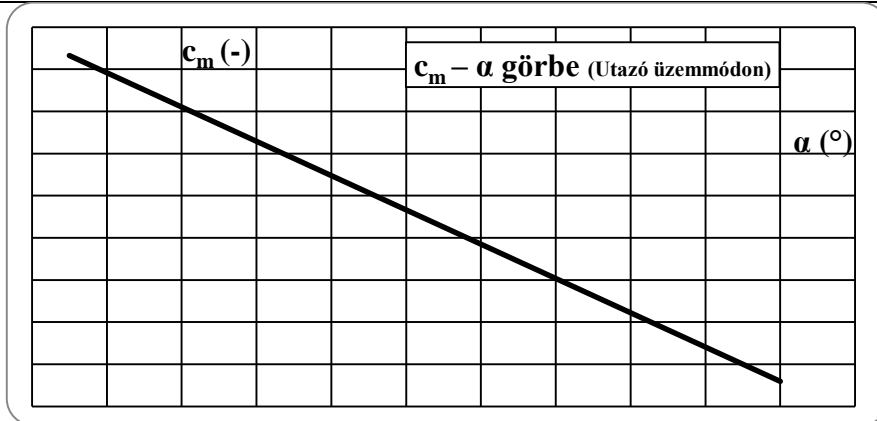
Az eredő légerő tényező ismeretében meghatározzuk az UAV eredő sebességét, majd felbontjuk horizontális és vertikális komponensekre és ezt ábrázoljuk egy diagramban.



6. ábra Sebesség – poláris

Repülőgép stabilitása [9] [11]

A pilóta nélküli repülőgépek esetén is fontos a megfelelő stabilitás biztosítása, melynek számítása elvégezhető "kézi" számításokkal vagy számítógépes szoftverrel. Ekkor vizsgálni szükséges a repülőgép hossz- és keresztirányú valamint iránystabilitását is. Csúpszárny repülőgépek-nél a hosszstabilitás vizsgálata különösen fontos, ami a szárny pontos geometriai adatai és a repülőgép súlypontjának ismeretében az XFLR5 programmal végezhető el. A Skywalker X8-as esetében ezek az adatok csak részben álltak rendelkezésre így, a stabilitás vizsgálatnál felállított modell egyszerűsége miatt a számítás inkább csak irányadó. A létrehozott modell az egyszerűsített szárny geometriai adatai alapján készült, súlypontja a belépőéltől 300 mm-re került. Az így kiszámított $c_m - \alpha$ görbe néhány pontjának koordinátái alapján Excelben rajzoltam meg a görbét, mivel így könnyebben és szemléletesebben jeleníthető meg. Az X8-as másik két tengely körüli stabilitását nem vizsgáltam.



7. ábra $c_m - \alpha$ görbe

Skywalker X8 repülésmechanikai számításai

Szükséges teljesítmény [9][12]

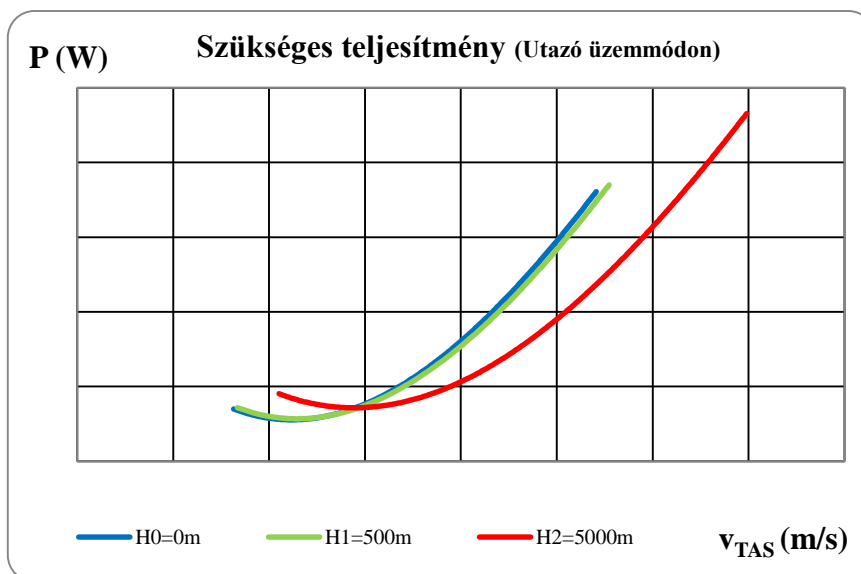
Az utazó üzemmódon a Skywalker X8-asra ható erők vizsgálatából indulunk ki, amely alapján a szükséges tolóerő az alábbi összefüggés alapján számítható:

$$T = \frac{W_{TOW}}{k} = \frac{m_{TOW} \cdot g}{k} = T_r \quad (2.1)$$

a 2.1-es összefüggés alapján meghatározható különböző sebességekre a szükséges tolóerő értéke, amelyből megállapítható a repülőgép tolóerő-sebesség diagramja. Légcsavaros légi járművek esetében azonban nem a hajtómű tolóerejét, hanem sokkal inkább a teljesítményét célszerű megadni. A szükséges teljesítmény számításának az összefüggése:

$$P_r = T_r \cdot v \quad (2.2)$$

A repülési magasság változásakor a levegő sűrűségének változása számításoknál a sűrűségviszonnyal vehető figyelembe (8. ábra).



8. ábra Szükséges teljesítmény



Rendelkezésre álló teljesítmény [7][12]

A megfelelő légszűrő és motor kiválasztására több módszer létezik, ugyanakkor ebben a mérettartományban - saját helyzetünk megkönnyítésére - célszerű figyelembe venni a gyártó vagy a forgalmazó ajánlásait. A Skywalker X8-ashoz többféle légszűrő típust ajánl a gyártó/forgalmazó, amelyek közül én az APC 12x6-os légszűrőt választottam, melynek karakterisztikája letölthető a gyártó honlapjáról. [13]

Légszűrő paraméterei:

- átmérője: 12 hüvelyk = kb. 305 mm
- emelkedése: 6

A motor kiválasztása során is célszerű követni a légszűrőválasztás során alkalmazott döntési módszert, így esett a választás a NTM Prop Drive 35-42 Series 1000KV 450 W / 700W kefe nélküli villanymotorra.

Motor legfontosabb paraméterei:

- típus: NTM Prop Drive Series 35-42 Series 1000 kV
- kV: 1000 rpm/V
- maximális áramerősség: 47A
- maximális teljesítmény: 450 W (3S) / 750 W (4S)
- tömeg: 146 g

A rendelkezésre álló teljesítményt a légszűrő karakterisztikái és a motor maximális teljesítménye ismeretében meghatározható. Utóbbi esetén a 450 W maximális értékkel számolunk, mert egy háromcellás akkumulátor biztosítja a szükséges teljesítményt.

Rendelkezésre álló teljesítmény számítása [9][12]

Toló légszűrő esetén a számítás menete hasonlóan működik, mint a húzólégszűrőknél.

A rendelkezésre álló teljesítmény kiszámítása során először az egyes sebességekhez és fordulatszámokhoz tartozó előrehaladási fok értéket kell meghatározni az alábbi összefüggés alapján:

$$J = \frac{v}{n \cdot D} \quad (2.3)$$

A rendelkezésre álló teljesítmény számítása az alábbi összefüggés alapján lehetséges:

$$P_a = \eta_{lcs} \cdot k_{\eta_{törzs}} \cdot k_{\eta_M} \cdot P_{motor} \quad (2.4)$$

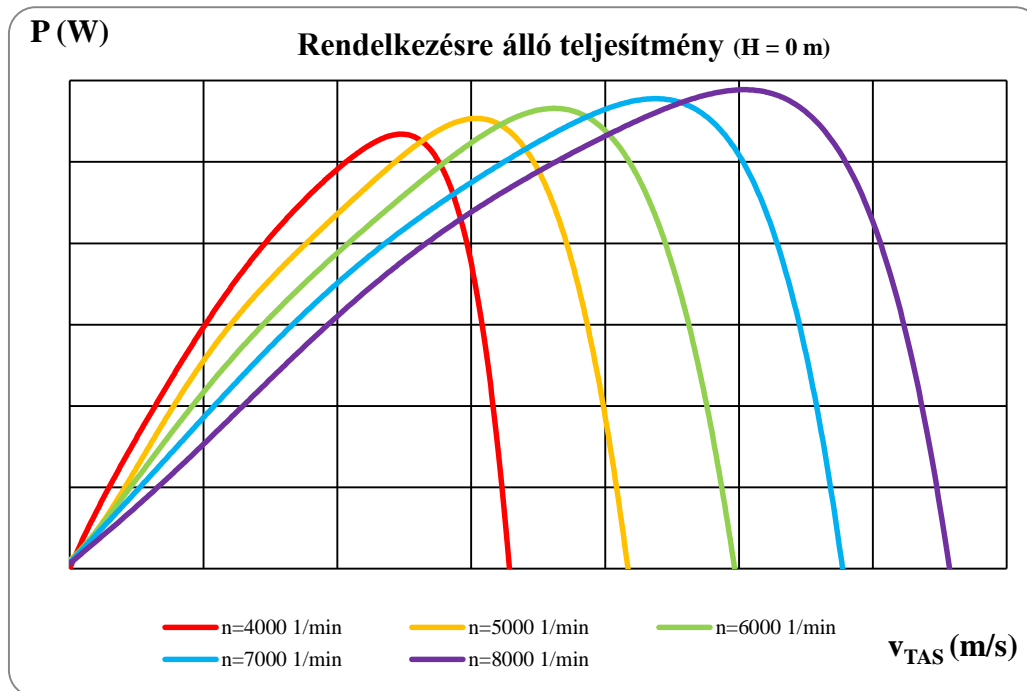
A légszűrő hatásfok meghatározható az előrehaladási fok ismeretében a légszűrő karakterisztikájából. (I- η diagramból)

A $k_{\eta_{törzs}}$ tényező a légszűrő és a törzs egymásra hatását veszi figyelembe húzó légszűrők esetében. Toló légszűrőnél ezzel a tényezővel vettem figyelembe azt, hogy a légszűrő megzavart áramlásban működik. A Skywalker X8-as esetében a $k_{\eta_{törzs}} = 0,92$ [14]

A k_{η_M} tényező pedig az esetleges Mach szám elérését hivatott figyelembe venni. A mi légszűrőnk és a kisméretű pilóta nélküli repülőgépek esetében ennek a tényezőnek az értéke 1, tehát nem következik be további hatásfokromlás, mivel a modell légszűrőknél nem jöhet létre akkora légszűrő lapátvégi sebesség, ami ezt szükségessé tenné.

A motor teljesítménye alatt a minden esetben annak maximális teljesítményét értjük. A feltételezésünk az, hogy a légszár anynyira leterheli a motort, hogy az különböző fordulatszámon tudja leadni a maximális teljesítményét. A pontosabb számításokhoz a motor és a légszár együttműködésének vizsgálata lenne szükséges.

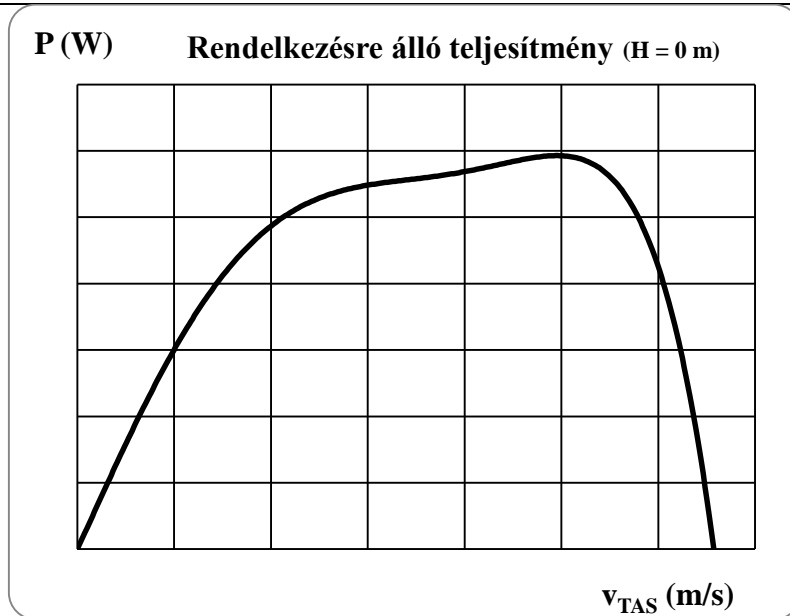
Az így kiszámított rendelkezésre álló teljesítmény értékeket a sebesség függvényében ábrázoljuk különböző állandó fordulatszám esetén. A fordulatszám értékeket 4000 1/min-tól 1000 1/min-ként növeljük egészen 8000 1/min-ig. Utóbbi, egy olyan elméleti maximumnak tekinthetjük, amelynél még biztosan nem következik be a légszár mechanikai károsodása.



9. ábra Rendelkezésre álló teljesítmény különböző fordulatszámok esetén

Jól megfigyelhető, hogy a légszár hatásfoka 0,7–0,8 közötti előrehaladási foknál meredeken csökken és a vonóerő kifejtése megszűnik. [13] Merev légszárak esetében ugyanakkor a fordulatszám növelésével, ahogy diagramon is megfigyelhető, elérhető nagyobb sebességeken (25–30 m/s) is megfelelő nagyságú tolóerő, illetve teljesítmény.

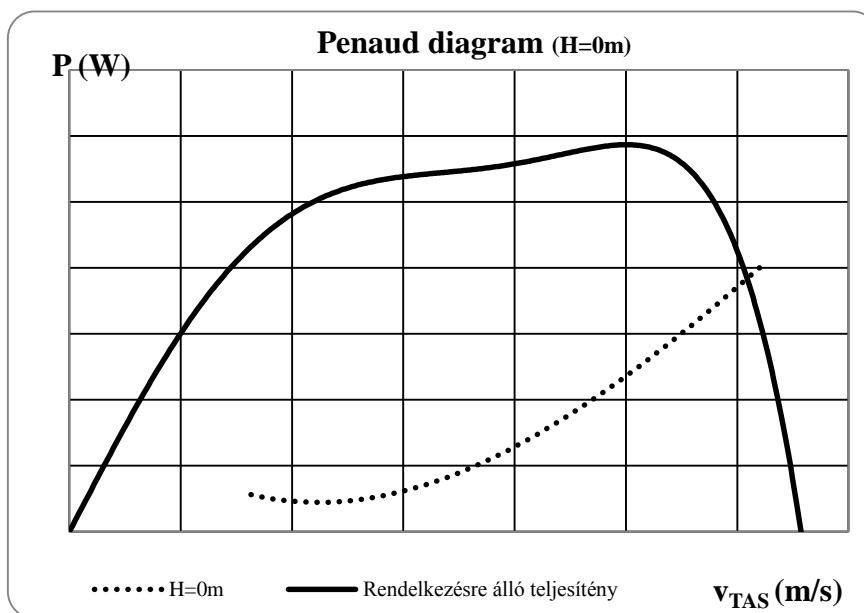
A számítás során csak tengerszint magasságára határoztuk meg a rendelkezésre álló teljesítményt, úgy egyszerűsítve, hogy a légszár hatásfok értékét 0,6–0,7 körüli értéken próbáljuk tartani a fordulatszám növelésével. Így alakul ki a 10. ábrán látható rendelkezésre álló teljesítmény görbe.



10. ábra Rendelkezésre álló teljesítmény

Penaud diagram [9][12]

A Penaud diagramban ábrázoljuk a szükséges és rendelkezésre álló teljesítmény görbét 0 m-es magasságra.



11. ábra Penaud diagram

Utazó üzemmód sebességei [9][12]

A Skywalker X8-as számára a Penaud diagram felhasználásával definiáljuk a nevezetes sebességeit, amelyek:

- *minimális sebesség*: az a legkisebb sebesség, amivel a repülő vízszintesen repülni képes. Meghatározása a Penaud diagramról történik a baloldali metszéspont leolvasásával. Ha

nincs ilyen, akkor a legkisebb sebességhez tartozó érték lesz a tényleges minimális sebesség a szükséges teljesítmény görbéről;

- *gazdaságos sebesség*: az a sebesség, ahol a legkisebb hajtómű teljesítményre van szükség az állandó magasságú és sebességű repüléshez (azaz a szükséges teljesítmény görbe minimum helyén);
- *aerodinamikai utazó sebesség*: az a sebesség, amellyel a lehető legnagyobb hatótávolság érhető el, adott mennyiségű üzemanyag esetén. Leolvasása úgy lehetséges, hogy a szükséges teljesítmény görbéhez érintőt húzunk a nulla pontból és az érintési pontot levetítjük a vízszintes tengelyre, így megkapjuk az aerodinamikai utazó sebesség értékét;
- *maximális sebesség*: a légi jármű által elérhető legnagyobb repülési sebesség. A szükséges és a rendelkezésre álló teljesítmény görbe jobb oldali metszéspontja.

A teljesítmény görbéről leolvasott értékek $H=0$ m-re:

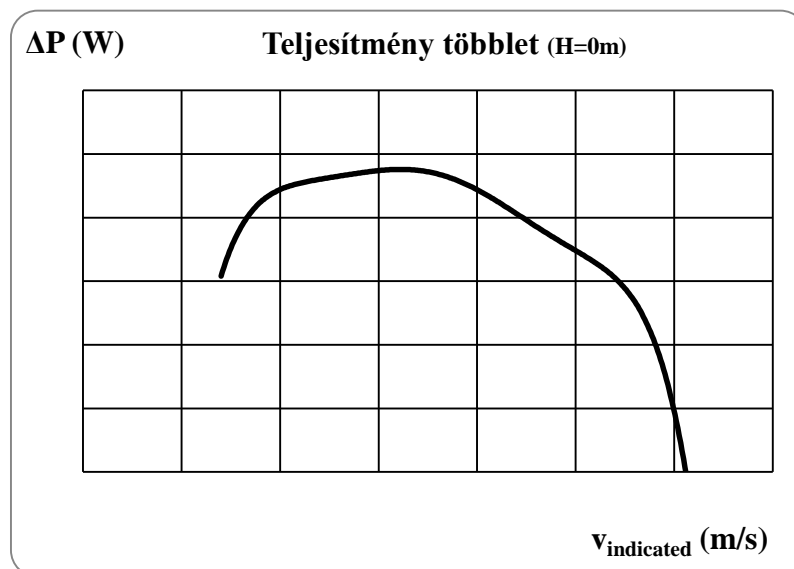
- minimális sebesség: $v_0 = 8,1$ m/s
- gazdaságos sebesség: $v_g = 11$ m/s
- aerodinamikai utazó sebesség: $v_{P/V_{\min}} = 13$ m/s
- maximális sebesség: $v_{\max} = 30,2$ m/s

Emelkedési sebesség [9][12]

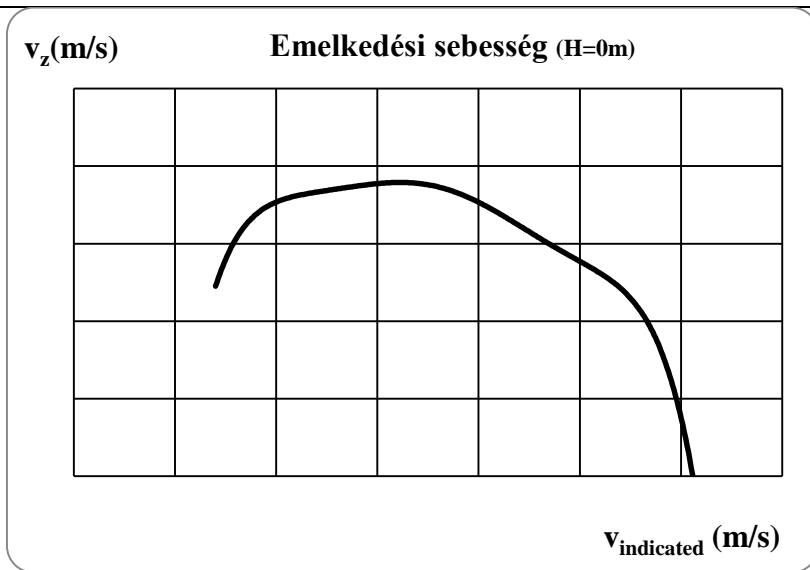
Az emelkedési sebesség számításához meg kell határozni a rendelkezésre álló teljesítmény és a szükséges teljesítmény különbségét, az úgynevezett teljesítmény többletet. A teljesítmény többlet meghatározása után az emelkedési sebesség az alábbi összefüggéssel számítható:

$$v_z = \frac{\Delta P}{W} \quad (2.5)$$

A teljesítmény többlet a rendelkezésre álló és a szükséges teljesítmények különbsége.



12. ábra Teljesítmény többlet



13. ábra Emelkedési sebesség

Repülési idő [9]

A repülési időtartam számítását H=0 m-re számítjuk, mivel ezen a repülési magasságon a legnagyobb. Az első esetben megvizsgáljuk, hogy a maximális motorteljesítmény leadása esetén mennyi lesz a repülési idő.

Szükséges adatok:

- akkumulátor feszültség (V) = 11,1V
- akkumulátor kapacitás (C) = 8400 mAh
- motor teljesítmény (P_{motor}) = 450 W
- a motor és a szabályzó hatásfoka [15] (η_{motor_ESC}) = 0,86

Az akkumulátor energiáját az alábbi összefüggés alapján számítható:

$$E_{akkumulátor} = V \cdot C = 335664 \text{ J} \quad (2.6)$$

Az akkumulátor által biztosított teljesítmény:

$$P_{akkumulátor} = \frac{P_{motor}}{\eta_{motor_ESC}} = 523,2558 \text{ W} \quad (2.7)$$

A repülési idő pedig az akkumulátor energiájának és teljesítményének a hányadosa:

$$t = \frac{E_{akkumulátor}}{P_{akkumulátor}} = 10,6915 \text{ min} \quad (2.8)$$

A repülési idő ebben az esetben hozzávetőleges 11 perc, ami megfelel a várakozásunknak maximális motorteljesítmény leadásakor.

A maximális repülési időt a gazdaságos sebességnél szükséges teljesítményre számítjuk ki. Felhasznált adatok:

- gazdaságos sebesség (v_g) = 11 m/s
- szükséges teljesítmény, ami egyenlő a légcsavar által szolgáltatott teljesítménnyel ($P_{ics} = P_a = 23 \text{ W}$)



A motor teljesítmény:

$$P_{motor} = \frac{P_{ics}}{\eta_{ics} \cdot k_{\eta\text{örzs}} \cdot k_{\eta M}} = 35,714 \text{ W} \quad (2.9)$$

Az akkumulátor teljesítménye a 3.6.2-es egyenlet alapján:

- $P_{akkumulátor} = 41,528 \text{ W}$

A légszavar hatásfokát 0,7-nek vehetjük.

A 3.5.1, 3.5.2 és a 3.5.3-as összefüggések felhasználásával a maximális repülési idő:

- $t_{max} = 131,632 \text{ min}$

A számítás során alkalmazott egyszerűsítések miatt a két órás repülési idő reális lehet. A pontosabb repülési idő meghatározásához ellenállás számítás pontatlanságát kellene csökkenteni, illetve az egyéb repülési időt csökkentő tényezőket jobban figyelembe venni. (fordulók, emelkedés, stb.) Az így kapott repülési idő nagysága jóval közelebb állna a valóságos maximális repülési időhöz.

Hatótávolság [9][11]

A hatótávolságot a $H=0$ m-re definiáljuk, a repülőgép sebessége az aerodinamikai utazó sebesség, ugyanis ezzel érhető el a legnagyobb hatótávolság. Utóbbi esetén azt, az egyszeri teljes akkumulátor feltöltéssel repülhető maximális távolságot értjük, amely során a légi jármű képes még visszarepülni a felszállás eredeti helyére.

Az aerodinamikai utazó sebességnél szükséges teljesítmény:

- $P_a = P_{ics} = 25 \text{ W}$

A motor által teljesítménye a 3.5.4-es összefüggés alapján:

- $P_{motor} = 39,82 \text{ W}$

Az akkumulátor energiája a 3.5.1-es összefüggés alapján:

- $E_{akkumulátor} = 335664 \text{ J}$

Az akkumulátor teljesítménye a 3.5.2-es összefüggés alapján:

- $P_{akkumulátor} = 47,4048 \text{ W}$

A repülési idő a 3.6.3-as egyenlet alapján:

- $t = 118,0135 \text{ min}$

A hatótávolság:

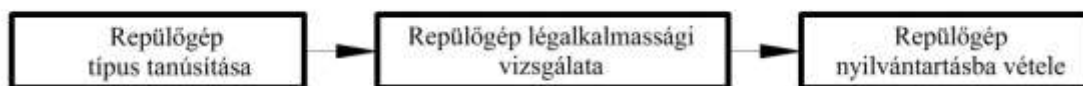
$$s = v \cdot t = 92,0505 \text{ km} \quad (2.10)$$

A repülési idő ismeretében nem meglepő a hatótávolság nagysága, ugyanakkor a repülési idő számítása során definiált módszerekkel hasonló mértékben lehetne pontosítani a hatótávolságot is. Az alkalmazott egyszerűsítésekkel és az ellenállás számítási módszerrel a hatótávolság értéke reális.

PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK HATÓSÁGI TANÚSÍTÁSA

Hagyományos légi járművek esetében a hatósági tanúsítás minden esetben a repülőgép tervező és gyártó szervezet hatósági bevizsgálásával, minősítésével kezdődik, mivel légi járművet, illetve légiközlekedéssel kapcsolatos eszköz gyártását, javítását kizárólag csak a Hatóság (értsd. légügyi hatóság) által tanúsított szervezet végezheti (lásd. légügyi törvény vonatkozó része).

Egy pilóta nélküli légi jármű esetében a hatósági tanúsítási eljárás rendszerint a típus tanúsítástól a repülőgép nyilvántartásba vételéig a 14. ábra szerint alakul.[16] Tekintettel a pilóta nélküli légi járművek rendkívül változatos méret és teljesítménybeli megoszlására a tervező, illetve gyártó szervezet légügyi hatóság által történő szervezeti tanúsítása nem minden esetben indokolt, mivel a légi jármű repülőműszaki paraméterei, illetve teljesítmény jellemzői nem teszik azt indokoltá, ahogy az általunk vizsgált géptípusnál sem. Fontos megjegyeznünk, hogy pilóta nélküli légi járművek hatósági tanúsításának még nem alakult ki a végleges rendje, az jelenleg még formálódik van csupán. Ennek megfelelően az alábbiakban részletezett eljárásrend sem tekinthető véglegesnek, hanem a jelenleg elfogadott állapotot tükrözi.



14. ábra Pilóta nélküli légi járművek hatósági tanúsítási folyamata

Először a jármű típusának, a mi esetünkben a Skywalker X8-asnak a hatósági tanúsítása történik meg, majd pedig az egyedi jármű légi alkalmassági vizsgálatára kerül sor. Ha mindkét esetben megfelel a jármű, akkor történhet meg a hatóság általi nyilvántartásba vétel. Jelenleg az UAV-kat nem veszi lajstromba a légügyi hivatal, de a későbbiekben (valószínűleg a közeljövőben az új gyártmányokra vonatkozó törvény hatályba lépése után) erre sorkerül, főként azoknál a repülőeszközöknél, amelyek kereskedelmi/üzleti célú repülést folytatnak. A repülőgép típus tanúsítása előtt sorra kell kerülnie a tervező/gyártó szervezet hatóság általi tanúsításának is, azonban ezzel a kérdéskörrel jelen tanulmányban részletesebben nem foglalkozik.

A repülőgép típus tanúsítása

„A típusalkalmassági bizonyítvány igazolja, hogy a légi jármű, illetve a légiközlekedéssel kapcsolatos eszköz típusa megfelel a légiközlekedés előírásainak.”[17]

A törvény értelmében a Skywalker X8-asnak először meg kell felelnie a típusalkalmassági vizsgán. A vizsgálat alatt légügyi hatóság szakértői a benyújtott dokumentációk alapján megállapítják azt, hogy a légi jármű alkalmas-e a magyar légtérben való repülésre.

A típusalkalmasság vizsgálatra szükséges benyújtani a légi jármű:

- műszaki leírását
- légiüzemeltetési és kiszolgálási utasításokat
- karbantartási utasítást
- egyéb más hatóság által kiadott tanúsítványt (rádióengedély, stb.)



A típus tanúsítása során kerül sor a jármű szilárdsági vizsgálatára és a berepülésére. A légialkalmassági vizsgálat berepülési programját is ilyenkor készítik el.

A repülőgép légialkalmassági vizsgálata

Az egyedi légialkalmassági vizsgálatra a jármű típus tanúsítása után kerül sor. Ilyenkor kerül sor az adott légi jármű típusra vonatkozó légialkalmassági berepülési program lerepülésének végrehajtására. A vizsgálat során a járművet a hatóság szakértői repülés közben ellenőrzik, és megvizsgálják, hogy biztonságos légiközlekedésre alkalmas-e.

A légialkalmassági vizsgálat végrehajtását követően a hatóság a légialkalmasság tényét megállapítja, és külön dokumentumban igazolja a jogszabályban meghatározott érvényességi ideig (légialkalmassági bizonyítvány).

A repülőgép hatósági nyilvántartásba vétele

Amennyiben a légi jármű típus tanúsítása és a légialkalmassági vizsgálata során megfelelőnek bizonyul, akkor a hatóság a repülőgépet nyilvántartásba veszi, amely után jogszerűen használható az kereskedelmi/üzleti célra. A repülőgép üzemszerű alkalmazásához szükséges biztosítanunk a megfelelő üzemeltetési környezetet.

A jogszerű használat mellett természetesen kiemelten fontosságú az is, hogy ha a jármű a légügyi hivatal szakemberei által is alkalmas legyen a repülésre, mivel csak akkor működtethető biztonságosan. Ez pedig kiemelten fontos cél a repülés bármely szegmensében, így a pilóta nélküli repülés esetén is.

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunk célja az volt, hogy bemutassuk egy pilóta nélküli repülőgép teljesítmény számítását és a vizsgált pilóta nélküli légi jármű típus hatósági tanúsításának egy lehetséges folyamatát. A teljesítmény számításban kitértünk az UAV aerodinamikai- (c_l - α görbe, poláris, sebességi poláris, stb.), illetve repülésmechanikai (szükséges-, rendelkezésre álló teljesítmény, stb) számításaira. A kiszámított eredmények (pl. repülési idő, hatótávolság, stb.) pontossága tovább növelhető további számításokkal (pl. CFD szimuláció), illetve mérésekkel.

Véleményünk szerint, mivel a repülőgép nem rendelkezi a gyártó által kiadott hasonló szintű aerodinamikai számításokat tartalmazó dokumentációval az elvégzett számítások részét képezhetik a repülőgép hatósági tanúsításának megkezdéséhez szükséges alapvető műszaki dokumentációnak. A hatósági engedélyhez természetesen szükségesek további számítások, amelyek nem kerültek bemutatásra, főként terjedelmi okok miatt. (szilárdsági-, részletes stabilitási számításai, stb.) A „Pilóta nélküli légi járművek hatósági tanúsítása” című fejezetben bemutatásra került a jelenlegi magyarországi UAV tanúsítási folyamat, röviden jellemezve a különböző szakaszait. Fontos azonban megjegyeznünk, hogy ez a folyamat UAV-k esetében még nem tekinthető véglegesnek különös tekintettel a pilóta nélküli légi járművek korábban említett változatos technikai, kialakítás- és teljesítménybeli változatosságára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ORSZÁGGYŰLÉS 1995. évi XCVII. törvény a légitörvényről. Budapest, 1995. A jogszabály 2014. december 14.-én hatályos állapota.
- [2] Skywalker X-8 FPV / UAV Flying Wing 2120mm (2015. március 7.) (online)
url:http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__27132__Skywalker_X_8_FPV_UAV_Flying_Wing_2120mm.html
- [3] NTM Prop Drive Series 35-42 Series 1000 kV (2015. március 7.) (online)
url:http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__16233__NTM_Prop_Drive_35_42_Series_1000KV_700W.html
- [4] Turnigy Trust 70A SBEC Brushless Speed Controller (2015. március 7.) (online)
url:http://www.hobbyking.com/store/__12189__TURNIGY_TRUST_70A_SBEC_Brushless_Speed_Controller.html
Turnigy nano-tech 8400mah 3S 40~80C (2015. március 7.) (online)
url:http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__21945__Turnigy_nano_tech_8400mah_3S_40_80C_Lipo_Pack_TRA2878_Slash_VXL_Slash_4x4_.html APC 12x6 (2015. március 7.) (online)
url:http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__5441__APC_style_propeller_12x6_E.html
Preliminary Aerodynamical Calculation of Aircraft. (Aerodinamika házi feladat segédlet), (2015. március 7.) (online) url: http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Jankovics_Istvan_anyagai/Aerodinamika/hazifeladat_segedlet.pdf
Légkör paraméterek (2015. március 7.) (online) url: <http://www.digitaldutch.com/atmoscalc/>
- [5] NÉMETH PÉTER Skywalker X8-as pilóta nélküli repülőgép teljesítmény számítása. Budapest, 2012 MH 61 (2015. március 7.) (online) url: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=mh61-il>
- [6] RÁCZ ELEMÉR Repülőgépek Budapest, Műegyetemi Kiadó, 2001
- [7] ROHÁCS JÓZSEF, GAUSZ ZSANNA, GAUSZ TAMÁS Repülésmechanika Budapest, Typotex, 2012
Légcsavar karakterisztika (2015. március 7.) (online) url:
http://www.apcprop.com/v/downloads/PERFILES_WEB/PER3_12x6.dat
- [8] Légcsavar-törzs egymásra hatását figyelembe vevő tényező (2015. március 7.) (online) url:
http://www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Oktatok_anyagai/Jankovics_Istvan_anyagai/Repulesmechanika/abrak/abrak.pdf
- [9] ERDŐDI ISTVÁN TAMÁS Alacsony Reynolds-számú légcsavar üzemi jellemzőinek analitikus és kísérleti vizsgálata. Budapest, 2012
- [10] SANDOR SIMON Oversight activity of NTA/AA related to UAS. V4 UAS International Conference 2014, Budapest, Hungary, 2014
- [11] HONVÉDELMI MINISZTERIUM 21/1998. (XII. 21.) HM rendelet, az állami légitörvények nyilvántartásáról, gyártásáról és javításáról, valamint a típus- és légitörvényekről, Budapest, 1998. A rendelet 2014. december 14.-én hatályos állapota.

JELÖLÉS JEGYZÉK

Latin betűk, jelölések:

- AR : szárnykarcsúság [-];
- AR_{eff} : effektív szárnykarcsúság [-]
- b : fesztávolság [mm];
- C : akkumulátor kapacitása [mAh]
- c : szárny húr hossz [mm]
- c_d : ellenállás tényező [-];
- c_{d0} : felhajtóerőtől független ellenállás tényező [-];
- c_{di} : indukált ellenállás tényező [-];
- c_g : geometriai húr hossz [mm];
- c_l : felhajtóerő-tényező [-];
- c_{l0} : nulla állásszöghez tartozó felhajtóerő-tényező [-];
- c_{lmax} : maximális felhajtóerő tényező [-];
- c_{LmaxA} : nyílzás hatását figyelembe vevő korrekciós tényező [-];

- C_{Lprmax} : profilra vonatkozó maximális felhajtóerő-tényező [-];
- C_l^{α} : állásszög függő felhajtóerő-tényező [-];
- C_l^{δ} : magassági kormánykiterítéstől függő felhajtóerő-tényező [-];
- C_m : bólintó nyomatéki tényező [-]
- C_R : eredő légerő tényező [-]
- c_r : szárnyvég húrhossz [mm];
- c_t : szárnytő húrhossz [mm];
- D : ellenállás erő [N]
- D : légszűrő átmérő [mm]
- $D_{törzs}^c$: törzs átmérője [mm];
- $E_{akkumulátor}$: akkumulátor energiája [J]
- g : nehézségi gyorsulás [m/s^2];
- i_r : szárnytő beállítási szöge [$^{\circ}$];
- J : előrehaladási fok [-]
- k : aerodinamikai jóság [-]
- k_e : korrekciós tényező [-]
- $k_{\eta M}$: korrekciós tényező nagysebességű légszűrők esetén [-]
- $k_{\eta törzs}$: korrekciós tényező, a légszűrő és a törzs egymásra hatására [-]
- k_A : szárny trapéz alakját figyelembe vevő korrekciós tényező [-];
- L : felhajtó erő [N]
- l : törzs hossza [mm];
- m_{TOW} : maximális felszálló tömeg [kg];
- n : fordulatszám [1/s]
- p : levegő nyomása [Pa];
- P_a : rendelkezésre álló teljesítmény [W]
- $P_{akkumulátor}$: akkumulátor teljesítmény [W]
- P_{motor} : motor teljesítmény [W]
- P_r : szükséges teljesítmény [W]
- Re : Reynolds szám [-];
- s : hatótávolság [km]
- $S_{törzs}^c$: törzs homlokfelülete [m^2];
- $S_{nedv.törzs}$: törzs nedvesített felülete [m^2];
- $S_{törzs}$: törzs felülete [m^2];
- $S_{szárny}$: szárnyfelület [m^2];
- t : repülési idő [s]
- T : levegő hőmérséklete [K];
- T : tolóerő [N];
- T_r : szükséges tolóerő [K];
- V : feszültség [V]
- v : sebesség [m/s]
- v_0 : minimális sebesség [m/s]
- v_0 : utazó sebesség [m/s]
- $V_{átesési}$: átesési sebesség [m/s]
- v_g : gazdaságos sebesség [m/s]
- V_{HOR} : horizontális sebesség [m/s]
- $V_{indicated}$: Indicated Air Speed [m/s]
- V_{max} : maximális sebesség [m/s]
- $V_{P/Vmin}$: aerodinamikai utazó sebesség [m/s]
- V_{TAS} : True Air Speed [m/s]
- V_{VER} : vertikális sebesség [m/s]
- v_z : emelkedési sebesség [m/s]
- W : repülő súlya [N];

Görög betűk, jelölések:

- α : állásszög [$^{\circ}$];



-
- α_0 : nulla felhajtó erő tényezőhöz tartozó állásszög [$^\circ$];
 - α_{0rv} : a ZLL és a húr által bezárt szög [$^\circ$];
 - Δc_d : állásszög változás miatti ellenállás tényező növekedés [-];
 - δ_e : magassági kormány kitérésének a szöge [$^\circ$];
 - ΔH : sűrűség viszony [-]
 - ΔP : teljesítmény többlet [W]
 - ε_i : geometriai elcsavarás szöge [$^\circ$];
 - η : dinamikai viszkozitás [Pa·s];
 - η_{lcs} : légcsvár hatásfok [-]
 - η_{motor_ESC} : motor és a szabályzó hatásfoka [-]
 - η_M : korrekciós tény., levegő összenyomhatóságát veszi figyelembe [-]
 - Λ : trapézviszony [-];
 - $\Lambda_{1/2c}$: szárny nyilazási szöge a húrhossz 50%-nál [$^\circ$];
 - Λ_{LE} : szárny nyilazási szöge [$^\circ$];
 - $\lambda_{törzs}$: törzskarcsúság [-];
 - ν : kinematikai viszkozitás [m^2/s];
 - ρ : levegő sűrűsége [kg/m^3];
 - Ψ : szárny V-beállítási szöge [$^\circ$];
 - θ : siklási szög [$^\circ$]



Szentpéteri László¹

DRÓNOKRA OPTIMALIZÁLT HELY-, ÉS HELYZET-MEGHATÁROZÓ RENDSZEREK²

A különféle drónok, UAV-k, UAS-ek, RPAS-ok száma, mérete, sebessége, repülési magassága, és alkalmazásaik száma óriási változatosságot mutat. Ennek megfelelően a sárkány, a hajtómű, az indító és leszállító rendszerek száma is szinte végtelen. Miután az alkalmazási körülmények, és az azokkal szembeni hely- és helyzet meghatározási elvárások nagyon tág határok között mozognak, a robotpilóták, a hely és helyzet-meghatározó szenzorok és rendszerek, valamint a navigációs eszközök is hatalmas számban állnak rendelkezésre. A cikk ezen eszközök közül szeretne bemutatni néhányat. A válogatás szubjektív, meg sem próbál teljes lenni, - és nem is lehet.

POSITIONING AND ATTITUDE DETERMINATION SYSTEMS OPTIMIZED FOR DRONES

The numbers, the sizes, the speeds of flights and the flying altitudes of the different drones, UAV, UAS and RPAS solutions shows huge diversity. Regarding this, the number of airframes, engines, launching and landing/recovery systems are also almost vasty. Different applications need different positioning and attitude determination accuracy and other parameters. Therefore big amount of autopilots, positioning and attitude sensors and systems are available. The article would like to introduce some of these tools and systems. The overview is subjective and even don't try to be complete, - but shouldn't be anyway.

SZEMÉLYZET NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK HELY ÉS HELYZETMEGHATÁROZÁSI PROBLÉMÁI

A pilóta nélküli légi-járművekre, alkalmazói körtől függően, különféle elnevezéseket használnak. Drón, UAV (Unmanned Aerial Vehicle = Személyzet nélküli légi jármű), UAS (Unmanned Aerial System = Személyzet nélküli légi rendszer), RPAS (Remotely Piloted Aircraft System = Távról irányított repülő rendszer), stb. A nevezéktan nem egyszerű, hisz az függ az alkalmazók körétől (hadsereg, polgári védelem, katasztrófa elhárítás, biztonsági cég, vagy teljesen civil (kereskedelmi) alkalmazó). Ráadásul ez utóbbi kör – bár vásárlóerejét tekintve a legkisebb -, mutatja talán a legváltozatosabb képet. Megtalálhatók köztük a földmérők, térképészek, mezőgazdasági és erdészeti szakemberek, környezet- és természet-védők, régészek, média szakemberek, közmű üzemeltetők és olaj/gáz szállító cégek stb.

A fenti nagyon széles alkalmazói kör nagyon sokféle pilóta nélküli légi-járművet használ. Ezek tömeg szerinti kategorizálása egy korábbi anyag alapján [1], az alábbi táblázatban található. Már itt jegyezzük meg, hogy a legtöbb polgári alkalmazó a NATO kategorizálás szerinti MIKRO és MINI rendszereket használja, míg a katonák a táblázatban található valamennyi kategória használói között megtalálhatók. A lenti táblázat eredetijéhez, e sorok szerzője csak az utolsó oszlopot helyezte be, kiegészítésként. Az oszlopban jól látszik, hogy a különféle

¹ Műszaki és üzletviteli konzultáns, DRÓNOK BLOG (uav-rpas.blog.hu), Laszlo.Szentpeteri@outlook.com

² Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre, egyetemi tanár, drmi48@gmail.com

„drónok” hely- és helymeghatározó rendszereivel, illetve robotpilótáival szemben sokszor nagyon eltérő elvárásokat támasztanak. Például egy Predator kategóriájú eszköznek nagy magasságú és sebességű, valamint hosszú idejű repülést kell végrehajtania és az ellenséges környezetben ezt lehetőleg elektromágneses kisugárzás nélkül, viszont, esetleg zavarás mellett is képesnek kell lennie elvégezni. Ezzel szemben egy polgári térképészeti, fotogrammetriai célú, MIKRO, vagy MINI UAV-ban a robotpilótának egy könnyű és agilis, a legkisebb fuvallatra is idegesen reagáló repülőket kell irányítania, a helymeghatározó rendszernek pedig, – egyes esetekben – akár pár centiméter pontos 3D koordinátát kell biztosítania a fényképezés pillanatában!

Össztömeg szerinti osztály	Kategória (NATO elnevezés)	Felhasználás	Üzemelés magassága (hatósugár)	Elvárások és kihívások a hely-, és helymeghatározó rendszerrel szemben
I. OSZTÁLY max. 150 kg	MICRO (max. 2 kg)	harcászati, biztonsági, térképészeti, térinformatikai	500 feet (150 m) terep felett (max. 5 km)	Egyszerűség, alacsony ár, kis méret, esetleg szélső pontosság (fotogrammetria)
	MINI (2-20 kg)	harcászati, alegység szintű, biztonsági, térképészeti, térinformatikai	3000 feet (900 m) terep felett (max. 25 km)	Egyszerűség, alacsony ár, kis méret, esetleg szélső pontosság (fotogrammetria)
	SMALL 20+ kg	harcászati (indítórendszerrel)	5000 feet (1500 m) terep felett (50 km)	Kis méret, kondicionálás és temperálás hiánya, szükség lehet zavarvédelemre és sok esetben nem megengedhető elektronikus kisugárzás
II. OSZTÁLY 150 - 600 kg	TACTICAL	harcászati	10000 láb (3000 m) terep felett (200 km)	Önálló, nagytávolságú navigáció, lehetőleg kisugárzás nélkül és akár zavarás mellett is.
III. OSZTÁLY több mint 600 kg	MALE	hadszintéri	45000 láb (13500 m) közepes tengerszint felett (100 km)	Önálló, nagytávolságú és nagysebességű repülés, kisugárzás nélkül és akár zavarás mellett is.
	STRIKE	stratégiai, nemzeti	65000 láb (19500 m) közepes tengerszint felett	Önálló, nagytávolságú és nagysebességű repülés.
	COMBAT HALE		(100+ km)	Nagyon hosszú repülési idő. Zavarvédelem.

1. táblázat Drónok osztályozása (Papp István szerint) és a velük szemben támasztott hely és helyzet meghatározási elvárások.

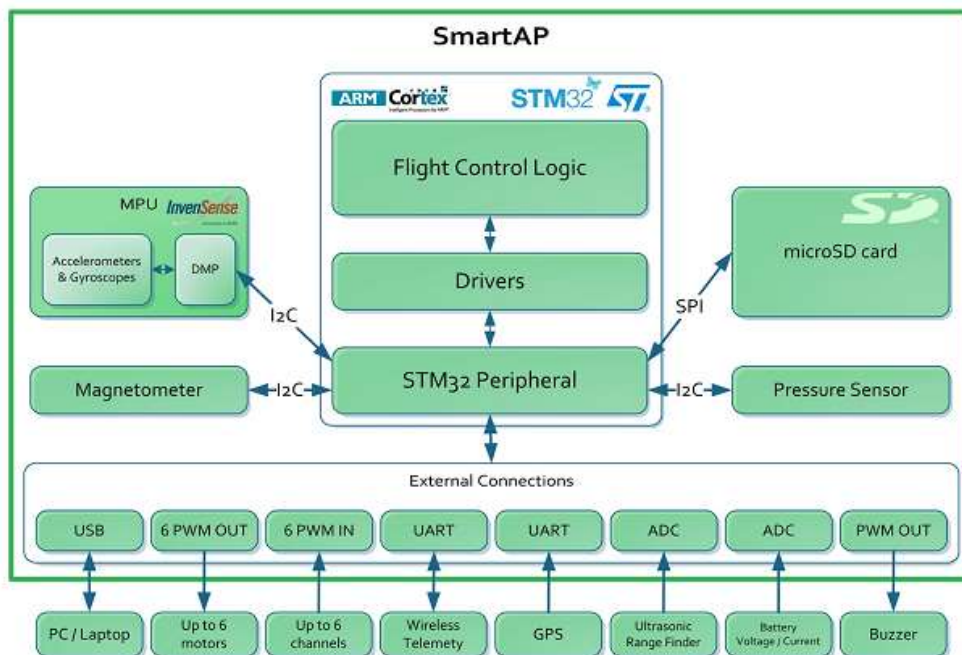
Nyilvánvaló, hogy a változó elvárásokhoz az egyetemek és vállalatok kutató és fejlesztő laboratóriumaiban különféle válaszokat igyekeznek adni. E sorok szerzője, irodalom-kutatás alapján szeretne bemutatni néhány érdekes és izgalmas megoldást a kicsitől a nagyig, az olcsótól a drágáig. A lista természetesen hiányos és szubjektív, de talán mégis jól mutatja, hogy a robotpilóták, a helymeghatározó és helyzet meghatározó rendszerek között micsoda különbségek vannak, és hogy ezek az eszközök legalább olyan sokfélék és sokszínűek, mint a drónok motorjai, vagy éppen indítási módjai és indító rendszerei.

EGY ALACSONY KÖLTSÉGŰ, DE KREATÍV ROBOTPILÓTA MIKRÓ ÉS MINI ESZKÖZÖKHÖZ

Évtizedünk elején, a Moszkvai Fizikai és Műszaki Intézet, Repülóműszaki és Repülómérnöki Tanszékén működő, drónokkal foglalkozó csoport célként tűzte ki, hogy alacsony áron hozzáférhető, kommersz alkatrészekből építsen egy teljes UAV robotpilótát, mely támogatja az oktatást, és mérete mindössze 60×40 mm-es. A csapat a szokásos feladatokon (stabilizálás, magasság tartás, GPS pozícióra repülés és forduló pontok közötti útvonal lerepülése) további feladatokat is meg akart oldani az eszközzel. Ezek között szerepelt például egy egyszerű kézi irányítás támogatása okos telefonnal és WiFi-vel, – mellyel a költséges, hagyományos rádió adóvevőt kívánták kiváltani.

A kialakított parányi robotpilóta alapját az akkor kereskedelmi forgalomban hozzáférhető, - az InvenSense által gyártott -, integrált inerciális mérőrendszer (MEMS IMU) képezte. A feladat átgondolása után azt találták, hogy a robotpilótának a következő elemeket kell tartalmaznia:

- nagyteljesítményű mikrokontroller;
- 9 szabadságfokú inerciális mérőegység (IMU), amely 3-tengelyes gyorsulásmérőt, 3-tengelyes giroszkópot és 3-tengelyes magnetométert tartalmaz, – és elvégzi a térbeli helyzet (és annak változásainak) meghatározását;
- statikus és dinamikus nyomás érzékelők a magasság és a sebesség meghatározásához;
- GPS vevő a globális, térbeli helymeghatározáshoz;
- vezeték nélküli adatcsatorna a kétirányú telemetriához és
- egy SD-kártya a repülési paraméterek rögzítéséhez;
- a fentieket még kiegészítette egy USB port;
- PWM input/output egység, mely a vett parancsjeleket a motorokhoz továbbította, és
- több analóg-digitális konverter, az akku feszültség és áramerősség monitorozásához.



1. ábra A MAV robotpilótájának blokkvázlata (Forrás: Kirill Shirov et al.)

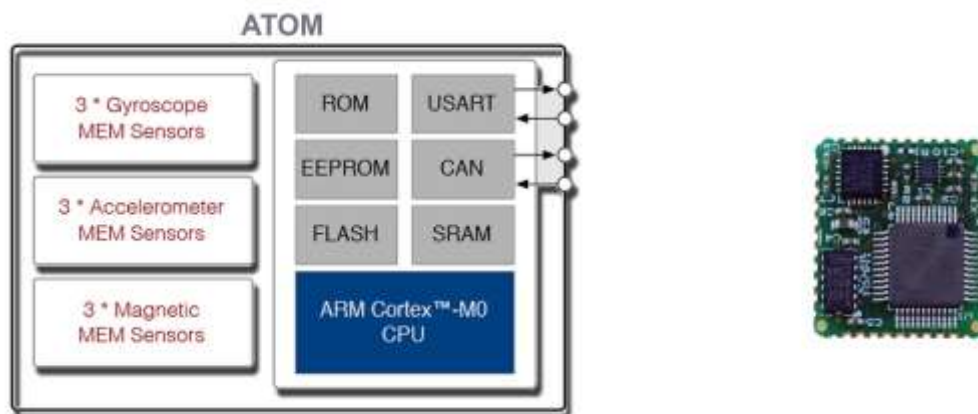
Nyilvánvaló, hogy a legnagyobb kihívást a 9-szabadságfokú IMU kialakítása jelentette. Szerencsésükre, akkor már rendelkezésre állt az InvenSense MPU-6050 típusjelű érzékelője, mely egyetlen, mindössze 4,0×4,0×0,9 mm-es szilícium lapkán tartalmazott egy integrált 3-tengelyes giroszkópot és egy 3-tengelyes gyorsulásmérőt! Ez az egység Euler szögadatokat tudott küldeni 200Hz-es, vagy nyersadatot 1000 Hz-es frekvenciával. (Azóta az InvenSense már megalkotta a berendezés továbbfejlesztett, MPU-9000 jelű változatát. Ez már integrált magnetométert is tartalmaz!)

Nyomásérzékelőként a BOSCH BMP085-ös, I2C interfésszel szerelt digitális barométerét használták, mely a labor kísérletek során 0,5 m-es pontosságot biztosított. Magnetométerként a Honeywell HMC5883-at használták. (A cikk a GPS típusát nem említi.)

Az olcsón hozzáférhető alkatrészekből összeállított, gyufásdoboz méretű robotpilóta jó példája annak, hogy a mobil-telefóniából és egyéb „consumer” elektronikai eszközökből származó alkatrészekkel egy egyetemi csapat milyen eredményt érhet el. A mikro és mini UAV-k számára fejlesztette robotpilótát sikeresen mutatták be egy olyan quadcopter-ben, amellyel azután részt vettek a 2012-es „IMAV Outdoor Competition”-ön [2].

„ATOM” - EGY KOMPLETT AHRS/IMU

Eltérően az előzőekben bemutatott, egyetemi körülmények között fejlesztett robotpilótától, a most bemutatásra kerülő eszköz, egy kifejezetten UAV fejlesztésre specializálódott vállalkozás, az „UAV Navigation” terméke. Az „ATOM” használható önálló AHRS/IMU-ként (Attitude Heading and Reference System/Inertial Measurement Unit = Magassági és Irányrendszer/Inerciális Mérőrendszer), vagy további szenzorokkal (GPS, ADS) kiegészítve egy INS (Inerciális Navigációs Rendszer) fő elemeként. Mint látható, nem robotpilóta, de profi megoldás, egy profi cégtől, professzionális alkalmazásokhoz [3].



2. ábra Az „ATOM” egy 16,6×16,6×2,4 mm-es, mindössze 2 g-os lapka, amely akár –40 és +85 Celsius fok között is működőképes. Táplálásához 3,3 V (±1%) szükséges, fogyasztása 90 mW. (ábra/fotó: UAV Navigation)

Az „ATOM” specifikációja [3]:

- gyorsulásmérő (3 tengelyes) mérési tartománya: ±16 g
- giroszkóp (3 tengelyes) mérési tartománya: ±2000 fok/sec
- magnetométer (3 tengelyes) mérési tartománya: ±1000 μT
- gyorsulásmérő (3 tengelyes) mérési érzékenysége: 0,01 m/s²



-
- giroszkóp (3 tengelyes) mérési érzékenysége: 0,1 fok/sec
 - magnetométer (3 tengelyes) mérési érzékenysége: 0,1 μ T

NAGYPONTOSSÁGÚ GPS/GNSS HELYMEGHATÁROZÁS POLGÁRI CÉLOKRA

A német Mavinci a 2010-es évek elején kezdte fejleszteni „Sirius” nevű, kézből indítható UAV-ját, kifejezetten térinformatikai adatgyűjtésre, 3D földmérésre, kartográfiára. Elég hamar szembesültek azzal a problémával, amelyet a légi- és űrfelvételeket készítő és kiértékelő szakemberek nagyon jól ismernek. Ahhoz ugyanis, hogy a képeket megfelelően illeszteni lehessen és azokon méréseket (fotogrammetriai kiértékelést) lehessen végezni, egy sor – fentről jól azonosítható – pontot kell kijelölni és azok cm pontos koordinátáját (földméréssel) meghatározni. Ezeknek a földi illesztő pontoknak (GCP) a mérése, a légi fotogrammetriai projektek egyik nagyon magas költségű munkarésze. Ennek kiküszöbölésére szokás a kamerát hordozó platform helyzetét nagyobb pontosságú GPS-es kiértékeléssel meghatározni. Míg egy műholdas mérés esetében esetleg a földi illesztő pontok egyszerű (abszolút) helymeghatározása is elegendő lehet, a repülőgépes felméréseknél már DGPS (differenciális GPS, néhány deciméter pontos), vagy RTK (valós idejű kinematikus, néhány centiméter pontos) mérések szükségesek. A DGPS és RTK mérések jellegzetessége, hogy a földön, ismert ponton telepített GPS referencia állomásokat használnak a kamera-hordozó platform (pl. repülőgép) helyének nagypontosságú meghatározásához.

A Mavinci mérnökei úgy döntöttek, hogy létrehozzák a világon az első olyan mini UAV-t, mely RTK GPS-t használ. Ennek köszönhetően a Sirius UAV alkalmazói a drága földi GCP mérések helyett csak egy, a mérési terület szélén telepített GPS bázisállomást használhatnak, a kamera pozíciója mégis néhány centiméter pontossággal lesz meghatározható a felvételezés pillanatában! A fejlesztéshez a Topcon B110 jelű GPS (GNSS – lásd később) vevőkártyáját használták, az UAV-t pedig átnevezték SiriusPRO-nak [4].

A Topcon B-110 egy GNSS (Global Navigation Satellite Systems, azaz Globális Navigációs Műhold rendszereket) használó kártya. Ez azt jelenti, hogy nem csak az amerikai GPS jeleit használja, hanem az orosz GLONASSz-t, az európai Galileo-t (ezek mind globális és 20–30 műholdat tartalmazó rendszerek), valamint olyan geostacionárius korrekciós műholdas szolgáltatások használatára is képes, mint az amerikai WAAS, vagy az európai EGNOS. Ehhez megfelelő az ún. „univerzális” vevő-csatornák száma 226, ami mintegy 400 párhuzamos-csatornának felel meg!



3. ábra A Topcon „B110” típusú GNSS vevője. Segítségével alakította ki a német Mavinci a fotogrammetriai célokra szánt „SiriusPro UAV” RTK (2cm) pontosságú helymeghatározó rendszerét. (Fotó: Topcon)

A vevő mindössze 40×55×10 mm-es, tömege kevesebb, mint 20 g, fogyasztása 1 W és működik –40 és +85 °C között. 4G-s szinuszos (SAEJ1211) és 7,7 G-s random (MIL-STD 810F) vibráció és 20 G-s gyorsulás mellett is működőképes. Képes a GPS L1 és L2, GLONASS L1 és L2 frekvenciákon történő fázismérésre, valamint az L1 C/A, L2C GPS és L1 és L2 GLONASSz-kódok és a Galileo E1 használatára is. Mérési adatait 1 és 100 Hz közötti frekvencián küldi az output portra [5].



4. ábra Magyarországon az első Topcon/Mavinci „SiriusPRO”-t egy szolnoki földmérő cég rendszeresítette. A fotó az átadást követő betanításon készült. Háttul jól látszik a sárga műszerlábba telepített RTK Referencia Állomás (Fotó: Central Geo Kft.)



NAGYPONTOSSÁGÚ POLGÁRI CÉLÚ GNSS/IMU INTEGRÁCIÓ

Mint láttuk az előző, polgári fejlesztés a nagy pontosságot célozta meg. Ehhez nagyon sok műholdrendszer jeleit és korrekciót (RTK) használ. Természetesen lehet olyan igénye is valakinek, hogy hasonló (nagy pontosságú, polgári, vagy békeidős katonai) feladatra szánt UAV-ját akkor is használni akarja, ha a GPS, vagy GLONASSz holdak valamiért kiesenek. Ebben az esetben nyilvánvaló igényként merül fel a nagy pontosságú GNSS kártya integrálása valamilyen IMU-val. Attól függően, hogy egy-egy gyártó gyökerei honnan indultak két megközelítés lehetséges: Vagy GNSS-t gyárt és ahhoz biztosít IMU integrációt, vagy épp fordítva, – a „komfort zónájába” tartozó IMU-t teszi képessé a GNSS adatok fogadására.

Az elsőre jó példa a jól ismert GPS/GNSS gyártó Trimble és az általa már több mint egy évtizede megvásárolt amerikai Applanix közös „AP15”-ös rendszere. A másodikra remek példa a kifejezetten IMU fejlesztő brit OXTS „xOEMcore” nevű eszköze. Mindkettő megoldás alkalmas lehet arra, hogy a kamera, vagy egyéb távérzékelő eszköz térbeli orientációját biztosítsa, vagy egy robotpilóta alapegysége legyen.

A Trimble/Applanix „AP15” rendszer alapja egy olyan GNSS kártya, mely két, egyenként 220 párhuzamos vevőcsatornát tartalmazó GNSS-morzst tartalmaz. Ezek együtt tehát 440 párhuzamos vételi csatornát képeznek, melyekkel a következő műhold-típusok, frekvenciák és kódok használhatók:

- az amerikai GPS (L1 C/A-kód, L2C, L2E (Trimble kód nélküli L2 P) és L5-ös frekvencia);
- az orosz GLONASSz (L1 C/A-kód, L1 P-kód, L2 C/A-kód és L2 P-kód);
- a kínai BeiDou B1 és B2 kódja;
- az európai Galileo L1 CBOC-kódja, E5A, E5B és E5AltBOC kódjai;
- a japán QZSS L1 C/A, L1 SAIF, L2C kódok és az L5-ös frekvencia.

A kártya – mely vezérlőrendszert és tápegységet is tartalmaz –, 130×100×39 mm méretű és 280 g tömegű, működik –40 és +75 °C között. Maga az inerciális mérő egység (IMU) egy 89×94×65 mm-es, 610 g-os doboz. Működőképes –20 és +55 °C között, és ±2G túlterhelés mellett.

Amennyiben a GNSS és IMU egységek közösen kerülnek beépítésre, és együttműködnek a mérésben, akkor az alábbi táblázatban található pontosságok érhetők el:

	Javítás nélküli (abszolút) mérés:	Valós idejű fázismérési javítással (Real Time Kinematic)	Utólagos fázismérési javítással (Post Processed Kinematic)	A Trimble saját, szabadalmaztatott, „SmartBase” nevű utófeldolgozásával
POZÍCIÓ (m)	1,5 m vízszintes 3,0 m függőleges	0,1 m vízszintes 0,2 m függőleges	0,1 m vízszintes 0,2 m függőleges	5 cm vízszintes 10 cm függőleges
SEBESSÉG (m/s)	0,05	0,03	0,015	0,015
ORSÓZÁS ÉS BÓLINTÁS (fok)	0,04	0,03	0,025	0,025
IRÁNY (fok)	0,30	0,18	0,08	0,08

1. táblázat (Forrás: Trimble)



5. ábra A Trimble / Applanix „AP15” GNSS/INS rendszere. Jobb oldalon hátul a kombinált GNSS-vevő és IMU vezérlő egység, előtte az IMU. A baloldali képen az IMU vezérlő panel. (Fotó: Applanix)

A brit OXTS „xOEMcore” 6-tengelyes inerciális mérő rendszerének (és szenzor-fúzióval létrehozható navigációs rendszerének) gyártása valamikor 2015 második negyedében indul. Az OXTS új eszközt elsősorban mobil térképező rendszerekbe, illetve katonai és kereskedelmi drónokba szánják. Hibája egy óra után mindössze 3 fok, mérete 50×65×24 mm, csak 50 g. A bemeneti feszültség 5 V, fogyasztása 2 W. Az egység –20 és +70 °C között is működik. Az xOEMcore többféle módon konfigurálható, illetve szerezhető be:

- az „xOEMcore” az alapegység, ami csak IMU képességekkel bír;
- a „Navigation” fantázianevű extra inputok fogadását is lehetővé teszi;
- a „PP” lehetővé teszi a nyers fedélzeti adatgyűjtést, és ezzel segíti az utófeldolgozást;
- a „gx/ix” képes differenciális GPS (DGPS) korrekció fogadására, míg
- a „gx/ix RTK” RTK GPS korrekciókkal dolgozik, és ezáltal a tehetlenségi rendszer saját újra-inicializáló képességét javítja, és alkalmassá válik UAV-s fotogrammetriához.

Mint fent írtuk, a rendszer képes fogadni DGPS, vagy RTK-korrekciót, s ehhez RTCM v3, vagy RINEX DGPS inputot vár, és külső szenzorokkal is ki lehet egészíteni. Ez utóbbiak lehetnek különféle GPS/GNSS eszközök, vagy (mobil térképészeti alkalmazásoknál) az odométer (kerékelfordulás jelző). Amennyiben egy UAV-ban, UAS-ben GPS/GNSS eszközzel kívánjuk ki egészíteni, akkor jelenleg három gyártó (u-blox, Topcon és Novatel) egy-egy típusa közül válogathatunk. Ezek integrációja és tesztelése megtörtént. Áruk eléggé eltérő (három külön műszaki kategóriáról beszélünk), de ennek oka van, – hisz az eltérő képességű eszközökkel az OXTS terméke más és más navigációs eredményre képes.



6. ábra A brit OXTS „xOEMcore” IMU-ja (Fotó: OXTS)

A µblox „LEA6” GPS vevőjével az elérhető legjobb helymeghatározási pontosság 0,5 m (CEP), a sebesség-mérési pontosság 0,02 m/sec (RMS), az iránymérés pontossága 0,06 fok (RMS), míg az orsózó és bólintó irányú pontosság 0,05 fok (RMS).

Amennyiben a felhasználó a másik két GNSS eszköz közül választ, a szögmerési pontosságok a fentiekkel azonosak lesznek, viszont a sebességmérés pontossága elérheti a 0,015 m/sec-ot, míg a helymeghatározás pontossága 2 cm lehet a Topcon „B110”-zel, illetve 1 cm lehet a Novatel „OEM6” GNSS-kártyájával.

PONTOSSÁG, INTEGRITÁS, KATONAI ALKALMAZÁSOK

Természetesen katonai alkalmazásokban is felmerülhet a szélső pontossági igény, de a hadászati, harcászati, illetve műveleti célú (az 1.-es táblázatban megjelenő TACTICAL, MALE, HALE) eszközök esetében a legfontosabb navigációs kihívás mégis a magas szintű integritás és rendelkezésre állás, akár zavarás mellett is. Az is nyilvánvaló, hogy a NATO tagállamok navigációs képességeket nem alapozhatnak az orosz (GLONASSz), vagy kínai (BeiDou) műholdas navigációs rendszerekre. Egy harcászati célokra szánt drón csak az amerikai GPS-t használhatja (legalábbis addig, amíg az európai Galileo titkos, katonai szolgáltatásai nem állnak rendelkezésre). Ilyen alkalmazásoknál lehet megfelelő megoldás a már említett Trimble „Force 524D” modulja. Ez egy SAASM-alapú vevőmodul, mely képes mind a polgári SPS (Standard Positioning Service = Szabvány Pozíció meghatározási Szolgáltatás, azaz C/A-kód), mind pedig a katonai PPS (Precise Positioning Service = Precíz Pozíció meghatározási Szolgáltatás, katonai P(Y)-kód, – illetve hamarosan majd M-kód) használatára. Akár önálló GPS-navigációs rendszerként, akár egy GPS-Doppler, vagy egy GPS-INS navigáció alapját is képezheti.

A vevő 24 párhuzamos vevőcsatornát használ, melyek vagy 12 L1 (P) és 12 L2 (P) kód vételére, vagy 8 L1 (P), 8 L2 (P), és 8 L1 (C/A) kód használatára programozhatók. A vevő támogatja az olyan vevőantennák használatát, melyek elemi antennákból állnak, és az egyes antenna elemek nyalábjai eltéríthetők („beam formers”) is! A tervezésnél maximális figyelembe vették azokat az amerikai TSO-kat (Technical Standard Order – Műszaki Szabványok Előírása), melyek a műholdas navigációval támogatott (nem precíziós) leszállító rendszerekre vonatkoznak (pl. TSO C-



129a). A vevő –2300 és +75 000 láb magasságok között, 1200 m/sec sebességig és 100 m/sec-os gyorsulásig alkalmazható. Pontossága a PPS-sel 16 m (pozíció), illetve 0,1 m/sec (sebesség) és megfelelő zavarvédelemmel (CI-GRAM-600, TMAS-GPS-F524D) rendelkezik. Működőképes –54 °C és +85 °C között, tömege 423 g. Meghibásodások közötti üzemidejét 16 700 órára becsüli a gyártó és az eszköz természetesen export-korlátozás alá esik.



7. ábra A Trimble „Force 524” (Fotó: Trimble)

ÖSSZEFOGLALÁS

Talán e rövid cikkkel is sikerült rávilágítani, hogy a különféle személyzet nélküli légi járművek jellegüktől, feladatuktól függően más és más hely- és helymeghatározó szenzorokat, és robotpilótákat igényelnek. Ehhez a piacon óriási számban állnak rendelkezésre különféle eszközök, melyek közül csak néhányat és teljesen szubjektív módon tudunk itt bemutatni. Amennyiben valaki drónt, UAV-t, UAS-t fejleszt, mindenképpen érdemes keresni és komoly erőt fordítania erre a területre is, hisz a választás minősége jelentősen befolyásolhatja a teljes rendszer alkalmazhatóságát.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PAPP ISTVÁN Pilóta nélküli légi jármű típusok jellemzése. Repüléstudományi Közlemények. Szolnok, 2013/2, pp 53-68.
- [2] KIRILL SHILOV – GROGORY LAZURIN „MAV” Autopilot For Commercial and Research Purposes. Moscow Institute of Physics and Technology, WEB: <http://sky-drones.com>
- [3] LEAFLET „ATOM” / UAV Navigation:
http://www.uavnavigation.com/products/products/ATOMDatasheet_0.pdf
- [4] CATALOGUE „Topcon Aerial Mapping Solutions”:
http://www.topconpositioning.eu/sites/default/files/product_files/uas_solutions_catalog_7010_2162_reva_sm_0.pdf
- [5] LEAFLET „Topcon B110”: http://vermessung.drbertges.de/docs/products/topcon_b110.pdf
- [6] DATASHEET „Trimble AP15”: <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-687597>
- [7] BROCHURE „OXTS xOEMcore”: <http://oxts.com/Downloads/Products/xoemcore/xOEMcorebrochure.pdf>
DATASHEET „Force 524D”: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-579399/force_524d-datasheet.pdf

Borján József¹ – Koncz Imre² – Óvári Gyula³

FÁTÓL A KOMPOZITIG. A REPÜLŐGÉPEK ÉPÍTÉSÉRE HASZNÁLT SZERKEZETI ANYAGOK FEJLŐDÉSE NAPJAINKIG⁴

A földi és vízi műszaki létesítmények tartószerkezeteivel szembeni elsődleges követelmény a megfelelő szilárdság. Ez, légijárműveknél kiegészül a lehető legkisebb szerkezeti tömegre való törekvéssel (könnyűépítés elve!), mivel a repülőgép levegőbe emeléséhez tömegével arányos motorteljesítmény szükséges. Ebből adódóan a repülés kezdeti időszakában a konstruktőrök fát használtak építőanyagul, majd később megjelentek a hegesztett acélszövből épített egyes szerkezeti elemek, amit teljesen acélszerkezetek is követtek. A létrehozott fém konstrukciók másik csoportja duraluminiumból készült, de ismeretesebb vegyes építésű kialakítások is. Az utóbbi évtizedekben a kompozit anyagok rohamos elterjedése tapasztalható. (E fejlődési folyamatról szól az alábbi cikk, amelyben a tárgyalt anyag átfogóbb feldolgozását beágyazott internetes hivatkozások segítik, ezért célszerű online internet elérés mellett olvasni.)

FROM THE WOOD TO THE COMPOSITES – THE DEVELOPMENT OF STRUCTURAL MATERIALS USED FOR AIRCRAFT CONSTRUCTION TO DATE

The primary requirement for the support elements of technical facilities on the ground and on the water is appropriate strength. In case of aircraft, there is an additional requirement: to minimize the structural weight (the principle of light construction), as in order to be able to lift up the aircraft one needs an engine performance proportionate to the weight of the aircraft. Consequently, in the early years of aviation history constructors used wood as building material, later on certain structural elements were built of welded steel tubes, and then fully steel constructions appeared. To another group of created metallic constructions duralumin constructions, and there are mixed-construction designs too. For the past decades we can see the rapid spread of composite materials. (The article below is about this development process, in which embedded internet links support the more comprehensive processing of the material discussed. For this reason it is advisable to read it with internet access at hand.)

REPÜLŐGÉPEK FÁBÓL

A fa

A fa szerkezetének kialakulását ismerve világossá válik, miért is ez volt a kezdetben a repülőgépek sarkányának fő építő anyaga. Létrejött mintegy 420 millió éve kezdődött, a harasztok és zsurlók megjelenésével. A fa szerves anyagokból épül fel, amit maga állít elő szerves vegyületekből. A levelekben lévő klorofill a levegőből széndioxid, a talajból víz és oldott ásványi anyagok, valamint a napsugárzás energiájának felhasználásával szerves vegyületeket hoz létre, melyek közül bizonyos szénhidrátok alkotják a fatest cellulóz-szerkezetének alapanyagát. Utóbbinak (is) köszönhető, hogy a fa (törzs) kivágását követően is, - megőrizve szilárdságát,

¹ okleveles építőmérnök, nyugállományú egyetemi docens (BME) jborjan@gmail.com

² repülőmérnök, koncz.imi57@gmail.com

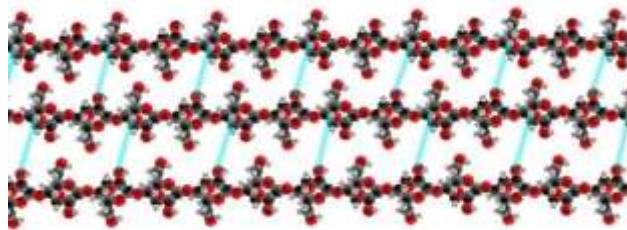
³ okleveles repülőmérnök, egyetemi tanár (NKE), ovari.gyula@uni-nke.hu

⁴ Lektorálta: Dr. Kavas László alezredes, egyetemi docens, NKE KRT, kavas.laszlo@uni-nke.hu

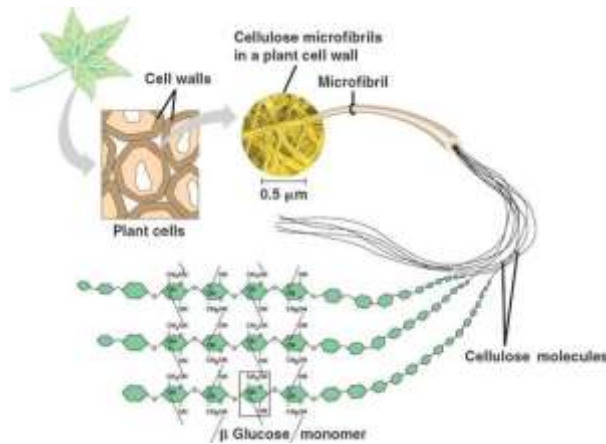
rugalmasságát - a belőle készült tárgyak kitűnően megfelelnek különböző teherviselő szerkezetek, így a repülőgép sárkány építőanyagául is.

A fatest szerkezete

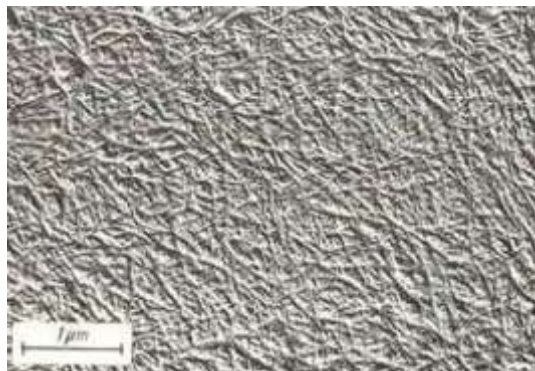
A fa alapanyaga a cellulóz, amely szén, hidrogén és oxigén atomokból álló óriásmolekula lánc (1. ábra) és a sejt élete során szénhidrátokból enzimek segítségével alakul ki (2. ábra).



1. ábra A cellulóz molekula egy szakasza⁵



2. ábra A sejtfalet alkotó fibrillumok vázlata⁶



3. ábra A sejtfalet belülről⁷

Az összekapcsolódó glukóz molekulák 15–20000 egységből álló láncként, az oldalkapcsolatok révén kristályos tulajdonságokat is mutató rostokká válnak. Ezek a mikrofibrillumok, amelyek

⁵(<http://hu.wikipedia.org/wiki/Cellul%C3%B3z#mediaviewer/File:Cellulose-Ibeta-from-xtal-2002-3D-balls.png>)

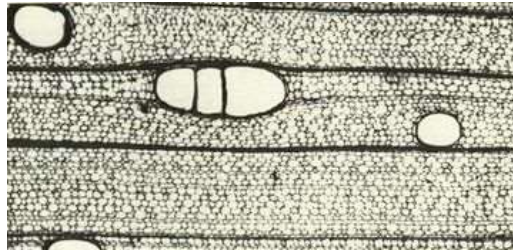
⁶ http://mkk.szie.hu/dep/aeet/tanweb/Fogalomtar/fogalom_kep/cellulose.JPG

⁷ <http://mkk.szie.hu/dep/aeet/tanweb/Fogalomtar/fogalom/kep/cellulose.JPG>

újabb kötege alkotja a fibrillum-szálakat. Az élő, anyagcserét folytató sejtekben alakul ki a sejt-falat képező fibrillum szálak kötege, amely az eredeti sejt-falat folyamatosan vastagítja (3. ábra).

A fa keresztmetszete

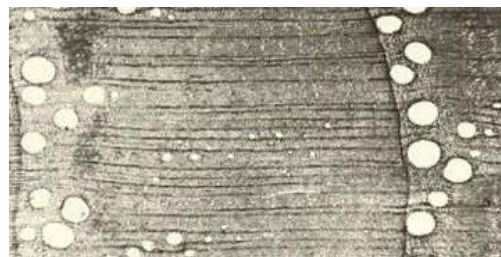
A fatest évről évre úgy növekszik, úgy, hogy a kéreg alatt a sejtek – kifelé a kérget vastagítva, befelé a fatestet növelve – osztódnak. Tavasszal vékonyabb falú, nagyobb sejtek, ősszel vastagabb falú, kisebb sejtek fejlődnek ki. E váltakozása adják az évgyűrűket. Az egyes fafajták más-más sejtszerkezettel rendelkeznek (ld. 4–6. ábra!).



4. ábra Balsafa⁸



5. ábra Erdei fenyő⁹



6. ábra Vörös tölgy⁹

A modellezők által is kedvelt *balsafánál* nagy, vékonyfalú sejtek keletkeznek, így az rendkívül könnyű. A repülőgépeken szárny-törzs átmenetek kialakításához, valamint kitöltő anyagként szendvics szerkezetek kialakításához használták. Az *erdei fenyőt* és a hasonló tulajdonságú fákat is széles körben alkalmazzák, mivel tavaszi pásztáját pl. szikével kivágva, akár ~1 milliméter széles lécek is kialakíthatóak belőle modell alkatrészként. A *vörös tölgyet* tömöttebb sejtjei miatt, – ami nagyobb a teherbírást is eredményez – jellegzetesen nagyobb erőnek kitett teherviselő elemekhez alkalmazzák. Az esetenként benne lévő görcsök viszont nehezítik a repülési építőanyagként történő felhasználást.

⁸ Dr. rer. nat. Dipl.-Biol. Rudi Wagenführ und Ing Chr. Sheiber: Holzatlas. Veb Fachbuchverlag Leipzig

⁹ Dr. rer. nat. Dipl.-Biol. Rudi Wagenführ: Anatomie des Holzes. Veb Fachbuchverlag Leipzig 1988

A fa az I. Világháború alatt a repülőgépgyártás nélkülözhetetlen anyaga volt, de a II. Világháborúban is készültek fából repülőgépek (pl. 1944-ben, a kis szerkezeti tömege miatt az akkori világ leggyorsabb könnyűbombázója a Hp Mosquito. illetve a legnagyobb vízi- repülőgépe a H-4 Hercules "Spruce Goose" (1947) is nyírfából készült, (bár utóbbi sohasem repült!).

Repülőgép építéséhez leggyakrabban használt faanyagok és jellegzetes alkalmazásai:

- *lucfenyő*: főleg vitorlázó repülőknél, kisebb igénybevétel esetében,
- *kőris, dió, mahagóni*: légsavarok, futómű csúszótalpak,
- *hársfa*: lécek, betétfák,
- *balsa*: kitöltő anyag,
- *nyír, bükk*: réteglemez alapanyaga.

A fa szerkezeti elemek összeerősítéséhez rendszerint fém kötőelemeket alkalmaztak.

Repülőszerkezetek borítás nélküli, rácsszerkezetű törzzsel

WRIGHT fivérek repülőszerkezetei 1900-tól

Wrighték repülőgépeiket sokáig fa lécekből készítették, (melyek jól szemléltethetők /A Wright testvérek repülőgépe/. c. beágyazott hivatkozáson). Később – Octav Chanute francia hídépítő mérnök javaslatára – mind a sikló, mind a motoros légijárműveikre osztott szárnyfelületeket építettek. A biplán elrendezés előnye, hogy a két szárny – síkjában elhelyezett főtartók dúcokkal összekötve, valamint átlós acélhuzal merevítővel ellátva - kitűnő, stabil térbeli rácisos tartószerkezet. Ez szilárdsági szempontból azért előnyös. mert a terhelésből származó nyomatókat az egész szerkezet együttesen viseli. Repülés közben a felső szárny nyomott, az alsó a húzott övben lesz és a lécek teljes keresztmetszete részt vesz a terhelés felvételében. A nyomatók karja a két szárny távolságával egyenlő. Egy léc esetében csak a keresztmetszet fele vesz fel nyomóerőt, az is háromszög alakú feszültségeloszlást mutat, tehát negyede a tisztán nyomott övhöz képest és a nyomatók karja a léc magasságának 2/3-ada. Mivel aerodinamikai szempontból a szárnyprofiloknak vékonyak, íveltnek és könnyűnek kell lennie, két-két főtartóra helyezték a hajlított lécbordákat. A szárnyak síkjában elhelyezett keresztező huzalmerevítés hosszirányban biztosította a két főtartó együttdolgozását. A főtartók, a bordák, az összekötő dúcok és a merevítő huzalok egy olyan térbeli rácisos szerkezetet alkotnak, amelyek az előforduló terheléseket rendkívül kis saját tömeg mellett képesek felvenni. Ugyanakkor a fa fizikai tulajdonsága azt is lehetővé tette, hogy a két szárnyvéget a profil szerkezeti tengelye körül huzalokkal rugalmasan elcsavarva a kívánt csűrő hatást (hossztengely körüli bedöntést) is kiváltsák. (Jelenleg a repülőgépeken ezt csuklósan rögzített kormánylapok biztosítják. Sport repülőgépeket még a közelmúltban építenek kétfedelűre, döntően kedvező műrepülő sajátosságai és egyszerű földi tárolhatóságuk miatt, de ilyen a még jelenleg is használatos An-2 is).

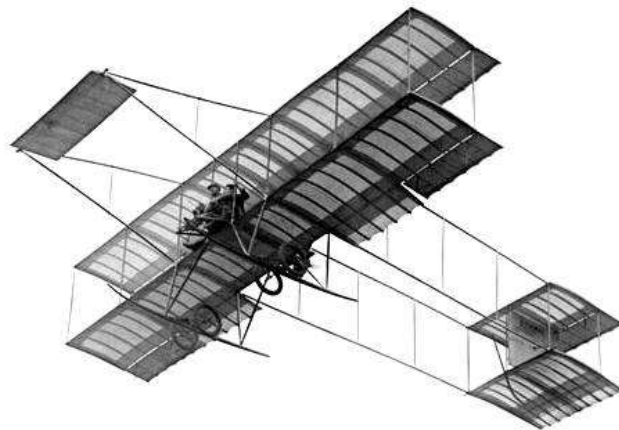
A Wright-fivérek biplánján – a szerkezeti tömeg csökkentése miatt – a hordozó- és irányfelületeket borították be vászonnal, a törzs rácsszerkezete szabadon maradt, a pilóta az alsó szárnyon eleinte fekvő, később ülő helyzetben irányította a repülőgépet (7. ábra). Mellette a négyhengeres motor két, ellentétes irányba forgó toló légsavart hajtott meg kerékpár láncsal, melyek tengelyeit 2-2 összekötő oszlophoz rögzítették. (Wright fivéreknek eredetileg kerékpár javító műhelye volt). Kettős függőleges vezérsíkot a szárny mögött négy darab merevített lécc tartotta. A vízszintes stabilizátorok – ugyancsak huzalmerevítésű lécekre szerelve – elől voltak

(kacsa elrendezés). Futóműként csúszó-talpakat alkalmaztak, a startot egy leeső súllyal mozgató katapult segítette. (A beágyazott videón megtekinthető az építés menete is.)



7. ábra FLYER II.¹⁰

Számos további konstruktor is alkalmazta a kétfedelű, nyitott, burkolat nélküli, rácsszerkezet-törzset (pl. 8. ábra) (melyek közül több megtekinthető az alábbi hivatkozások segítségével: FABRE vízirepülőgép /francia, 1910./, VALKYRIE /brit, 1910./, BRISTOL BOXKITE /brit/, CURTISS Golden Flyer /USA 1909./, SILVER DART /USA, 1909./, CODY /brit. 1910./)



8. ábra FARMAN III¹¹

Burkolt törzsű repülőgépek megjelenése

A repülési időtartam, sebesség, illetve magasság növekedése szükségessé tette a repülőgép törzsek - legalább is részleges, a személyzetet a külső környezeti hatásoktól védő - borítással történő ellátását. Utóbbiakat, melyben katonai alkalmazás esetén a pilóta mellett a lövész foglalható helyet, (de rendszerint ide rögzítették a motort is) *gondola kialakítású törzsnek* is nevezték (pl. 9. ábra). Még 1917-ben is építettek ilyen törzskialakítású harci és bombázó repülőgépeket. Ennek egyik jellegzetes, és szériában is épített típusa a De Havilland DH 2 volt. A kor hasonló szerkezeti megoldású ismert repülőeszközei voltak még a VOISIN 5 /francia, 1916./, FARMAN HF 23 /francia, 1914./, illetve a VICKERS FB 5 /brit, 1915./.

¹⁰ http://hu.wikipedia.org/wiki/Wright_fiv%C3%A9rek#mediaviewer/File:Flyer-2.jpg

¹¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Farman_III



9. ábra BREGUET BrM-S

Hagyományos törzskialakítású repülőgépek

A gondolával szerelt, teljesen burkolt törzsű repülőgépek sarkányának teherviselő vázszerkezete is többnyire teljes egészében fából készült egyre igényesebb technológiával. (A mellékelt beágyazott filmrészlet, egy ilyen légi jármű restaurátor műhelyét mutatja be.)

Három, vagy 4 hosszmerítő lécet, fa rudakkal összekötve, szabályozható feszítőhuzalokkal merevítve alakították ki a vezérsíkokat tartó törzset, amit eleinte vászonnal, később réteges lemezzel borítottak. A motor körüli burkolat általában alumínium lemez volt. (Közel teljes egészében faszervezetű harcirepülőgépet láthatunk ezen a webhelyen.)

Az I. Világháborúban épített repülőgépek tipikus szerkezete: négy hossztartóból kialakított fa rács volt, melyet dúcok és huzalok merevítettek. Ezt vászonnal borították, az aerodinamikai formát törzskeretek és bordák biztosították. A háború végén szolgálatba állított BRISTOL F 2 törzse valamint a magyar rekorder Róma repülőgép (10. ábra) is faszervezetű volt.



10. ábra RÓMA ¹²

A korszak további néhány jól bevált repülőgépe volt még a:

- NEUPORT 28 melynek négyövé, faszervezetű törzse a kapcsolódó törzskeretekkel a mellékelt videó segítségével is tanulmányozható: Részletek, a feszítőrendszerek;
- SE 5 A továbbfejlesztett konstrukció volt. Az erősebb motorok és a a szélcsatornában végzett kísérletek eredményeként vastagabb szárnyprofilokból kialakított szárnyat kapott. Ez magasabb főtartóv alkalmazását és más bordaépítést is lehetővé tett. (Jól láthatóak a replika építést megörökítő filmrészleten a szárny részletei benne a törzs 4 db fa hossztartóból kialakított rács szerkezete. A rácsrudakra íves alaktartó elemeket is rögzítettek, amin sűrű vékony lécezés tartotta a vásznat. Ezt a szerkezeti megoldást több más korabeli repülőgépen is alkalmazták.

¹² Zainko Géza: Képes repülés, repülés képekben <http://kepesrepules.wordpress.com>

Monoplanok

A kétfedelű repülőgépek mellett sok konstruktőr választotta az egyfedelű, (monoplán) elrendezést. A szárny szerkezete hasonló a kétfedelűekéhez, de a törzsközépre épített pilonokhoz rögzített külső merevítő huzalokkal biztosították a szárny megfelelő hajlító merevségét. Kivétel az Etrich Taube gépe, amely ezen kívül még a szárny alatt futó lécet is tartalmazott. Ez a két főtartóval egy háromövű térbeli tartórácsot képezve merevítette a szárnyat. Egyébként, ez volt az első, még az első világháború előtt, harctéren is bevetett repülőgép (1911 olasz-török háború). A monoplánokon a vezérsíkok már rendszerint a törzs, borítással ellátott farokrészére rögzítettek. Legegyszerűbb megoldást a Fokker Spinne típusnál látható, ahol két fatartót, huzalokkal merevítettek. A baldachin és a törzsmerevítők fémcsőből készültek.

Hasonlóan, BLERIOT mellékelt a vázlatán is jól látszik, hogy az egész repülőgép faépítésű volt, csak a futómű és baldachinok készültek fémből. A szárnyat huzalokkal rögzítették (merevítették) az utóbbiakhoz. A rácsszerkezetű törzs övrészét 4 darab fa rúd alkotja, melyeket dúcok kötnek össze és mezőnként átlós huzallal merevítettek. A törzs elejét vászonnal borították. Ezt a teherviselő rendszert még nagyméretű bombázó repülőgépek esetében is alkalmazták, de ott a teljes felületet eleinte vászonnal, később réteges lemezzel borították. (Ilyen törzs szerkezet tekinthető meg a mellékelt videókban is, valamint hasonló konstrukciók: a ZEPPELIN STAKEN 8301 /német, 1918./, SPAD XIII /brit, 1918./, a HANDLEY PAGE 0/100 /brit, 1918./ és a Be 2C /brit, 1916./ is láthatóak a további beágyazott részleteken).

A bemutatott vászon- és furnér borítású rácsszerkezetű konstrukciók közös sajátossága, hogy a *borítás* - csak kedvezőbb aerodinamikai formát biztosít a törzsnek, védi a személyzetet, a rakományt a környezeti hatásoktól, de - *nem vesz részt a terhelések felvételében*.

Félhéj és héjszerkezetű törzsek létrehozása

A repülőgép-építés fejlődésének következő szükségszerű állomása a borítás fokozatos bekapcsolása volt a terhelések felvételébe. Ennek első lépéseként a megerősített borítás - mint zárt kontúr – a csavarás, valamint vízszintes és függőleges nyírások, nyírófolyam formájában történő felvételére vált alkalmassá. Ez, az un. **félhéj szerkezet**, amelyben rendszerint külön tartóelemek, un. hossztartó gerendák, – az I-profil analógiájára – képesek a hajlításokat húzás-nyomás formájában felvenni. A tudomány és a gyártástechnológia további fejlődése lehetővé tette kizárólag a borítás alkalmassá tételét valamennyi terhelés felvételére. Ez utóbbit nevezik **héjszerkezetnek**. Az első ilyen repülőgépet a Deperdussin cég készítette. Egy sablonra réteges-lemez csíkokat rögzítettek, melyek száliránya a törzs tengelyével szöget zárt be a fő csavarási igénybevételeknek megfelelően. (Ezt illusztrálja a MONOCOUCHE Racer 1913. ahol a törzs közelről is megsejtelhető, illetve tapasztalható, hogy az olyan könnyű, amit egy ember elbír. Itt a ferde szálirányú réteges lemez burkolás tanulmányozására is lehetőség nyílik.)

A fejlesztés következő állomását az Albatros cég ALBATROS B-2 konstrukciója jelentette, amely fa, réteges-lemez burkolattal készült. Ezt követte az I. Világháború vége felé elkészült ALBATROS D V. modell. Jellegzetessége a masszív fa szerkezet, amely már a héjszerkezet előhírnökének tekinthető. (Ezt illusztrálják a Wikipédiában: A szárny bevonat nélkül. A törzs szerkezete. A szárnyvég. Eredeti példány. Törzskeretek. címszavak alatt fellelhető részletek.)

MOSQUITO a De Havilland gyár által készített Mosquito a II. világháború egyik leggyorsabb vadászbombázó repülőgépe volt, melynek törzse és szárnya fából készült. Ez lehetővé tette, hogy a konstrukció a szokásosnál könnyebb legyen így a hasznos terhelése és/vagy a hatótávolsága nagyobb lehetett, mint a kategóriája tisztán fémépítésű repülőgépeié. (A témához értékes információk nyerhetők egy restaurált példány gyártási fázisairól készült videóról, illetve a következő Video: Az eredeti gyártása Replika gyártása hivatkozásokból)

H4 HERCULES a legnagyobb fa építésű repülőgép volt, (melyről a Wikipediában – többek között – az alábbi adalékok láthatóak: A törzs hátsó része belülről A gép képe előlről vontatva AIRSPED HORSÁ a II. Világháború teljesen faépítésű vitorlázó repülőgépe volt (ld. még Horsa Panorama video!), de a más prototípusok is készült fából (ld. pl. HURRIKAN fából).



11. ábra Egy tipikusan fa szerkezetű gép metszete¹³

REPÜLŐGÉP SZERKEZETI ELEMEK FÉMBŐL

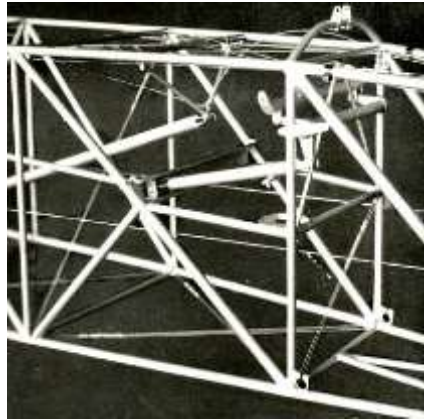
A fémek közül az acélt, majd az alumínium ötvözeteit kezdték alkalmazni a repülőgép teherviselő rácsszerkezetének kialakítására, majd később a titán is szerepet kapott. Az acél alapesetben vas és szén ötvözete, de tulajdonságai más ötvöző-anyagokkal is módosíthatóak. Az acélok szilárdsága elsősorban a széntartalomtól, az esteleges ötvözőktől és az alkalmazott hőkezelési eljárástól függ. A tiszta az alumínium sem alkalmas szerkezeti anyagnak, rendszerint az ötvözeteit használják, a repülőgép-építésben ez tipikusan a dúralumínium.

Vegyes építési mód: acélcső rácsszerkezetű törzsek és faszerkezetű hordfelületekkel épített repülőgépek

Acélsőből kialakított rácsszerkezetű törzsű repülőgépeket máig építenek sport célokra. (Néhány, az internet segítségével fellelhető további, kapcsolódó információ: Repülőgép szerkezetek: a finn Hurrican törzse, Vickers Wimpy hordfelületek, fa, törzs acél vagy fa vegyes váz vászonborítású acélső, Gyártósor, az UT-2 és JAK-18 típusokról Ozsváth cikke Wikipedia Oldalkép, Video, Lavocskin La 5 és La 7. Még egy példa az alaktartó fa De Havilland DH 83 De Havilland DH 80 törzs szárny vezérsík kialakítására. Jól példázza ezt a szerkezeti kialakítást a GENERAL AIRCRAFT **HAMILCAR** Szállító vitorlázó repülőgépe mely 1942-ben Angliában épült: Múzeumban, A II. világháború repülőgépeiből:).

¹³ Otto Mairer Verlag: Sportfliegen. Ravensburg 1935.

Acélcsövekből kialakított rácsszerkezet

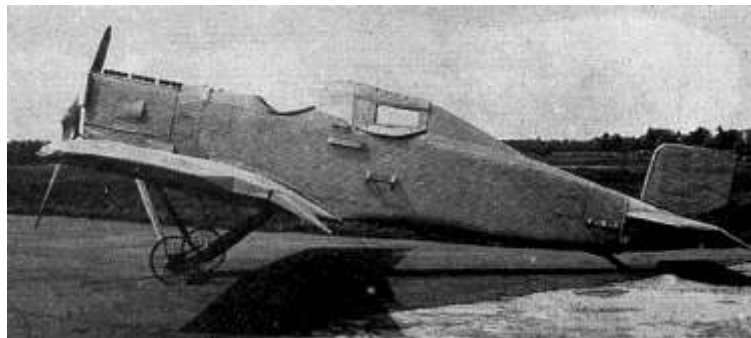


12. ábra Egy acélcső váz részlete¹⁴

A **Junkers Flugzeug- und Motorenwerke AG (JFM**, korábban **JCO**, az I. világháború idején **JKO**), cég tervezte és építette az első teljesen fémépítésű repülőgépeket **JUNKERS J 1** típusjelöléssel 1915-ben. Ezt követte a **JUNKERS J 2** monoplán, melynek vastagabb profilokból kialakított szabadonhordó, szárnya lehetővé tette, a külső merevítő huzalok mellőzését, így a légellenállás csökkentését.

A Junkers koncepció

A Junkers által tervezett repülőgépek törzse és a szárnya acélcsövekből épített erős térrács szerkezet volt, melyre szegecseléssel hullámosított alumíniumlemez borítást rögzítettek. E megoldást következetesen alkalmazták a vezérsíkok esetében is. (Ilyen szerkezetet egy Junkers F-13-as restaurációs munkája során készített, illetve a Junkers F-13 és G-24, Junkers filmdokumente, Ju-52, G-38) videók segítségével tanulmányozható.



13. ábra Junkers J10¹⁵

A hullámosítás szerepe

Egy hajlított tartót alapul véve, abban a hajlítás során a görbület külső ívén húzás, a belsón nyomás keletkezik. A létrejövő belső feszültségek eredője a külső erőkből származó nyomatékkkal tart egyensúlyt. A hullámosított lemez külső és belső pontjai közötti magasságkülönbség miatt, egyik a

¹⁴ Dr.Ing. W. von Langsdorf: Jahrbuch 1929/30. Bechhold Verlag Frankfurt 1929.

¹⁵ <http://en.wikipedia.org/wiki/File:JunkersJ10.jpg>

nyomott, a másik a húzott övben helyezkedik el, az összekötő rész pedig biztosítja a kapcsolatot és felveszi a nyírófeszültségeket. A hullámosítás tehát egyik irányban merevebbé teszi a lemezt.

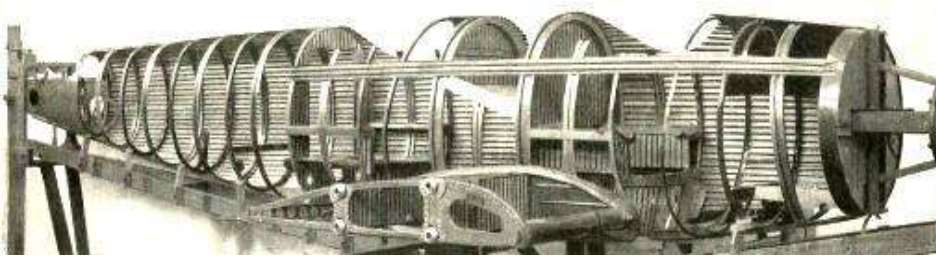
Megoldások

A hullámosított lemezt az egyenes keretszerkezeti elemekre a hullámvölgyekben szegeccssorral rögzítik. A hullámlemez csatlakozása a törzs tartószerkezetéhez belülről jól látszik. Gondot jelent a hullámlemezek végének "eldolgozása". Ezt úgy oldják meg, hogy a lemezek végén minden hullámba két, három kisebb hullámhosszú alakzatot sajtolnak, így már könnyebb a síkfelülethez illeszteni a lemez széleket. Mindez jól megfigyelhető (az előbbi képen is) a motorburkolathoz való csatlakozásnál, ahol a szegeccsorok is jól láthatóak. A végső kialakításban aztán belső, sík burkolólemez takarta el a vázszerkezetet. Így néz ki ma is a turistaforgalomban használt Ju-52 belső tere. Praktikus a törzs görbületeinek a követése, valamint az egyenes elemekkel való kisszögű csatlakozás megvalósítása. Külön érdekes a törzsvégén eldolgozott hullámlemez és a vezérsíkokon alkalmazott borítás is. A bordasűrítést a vezérsíkok belépőélei mentén is alkalmazták. A hullámlemez célszerű kialakításával követhető a törzsvég méretcsökkenése is. A hordfelületeken a hullámok az áramlásra merőlegesek. Nagyobb a hullámhossz a szárnyon, kisebbek az irányfelületeken találhatóak. Érdekes a motor áramvonalas burkolata és a hullámlemez csatlakozása is, ahol olyan külön takarólécet használtak, ami egyik oldalon a motorburkolathoz simul, a másikon meg a hullámok közé illeszkedik. A belépő élnél külön mélyhúzott elemeket helyeztek el a szárnytónél, többi belépő élnél pedig a kishullámhosszú eldolgozást alkalmazták. A képen jól látható a belépő élhez csatlakozó eldolgozás, illetve a futószárok megengedett rugalmas deformációját lehetővé tevő nagyobb nyílás a burkolaton. A kilépő élénél a hullámlemezt szegeccseléssel azonos fázisban illesztették.

(Az alábbiakban, beépített hivatkozások segítségével néhány korai Junkers konstrukció tanulmányozható. Az első sportgépek egyike egy korai Junkers mely a mellékleten a restauráció előtt látható. A híres F-13-as is több változatban jelenik meg F-13-as a Wikipediában. Egy ilyen repülőgépgép a Közlekedési Múzeumban is megtekinthető. A következő videóban a beszállás előtt körbejárható egy Ju -52 es, megtekinthető belülről is a törzsszerkezet, majd a három motor zaja közepette nosztalgiautazáson is részt lehet venni. Egy roncs, illetve egy amerikai repülőgépen is tanulmányozható a Junkers koncepció. A burkoló lemez hullámosítását Rubik Ernő is alkalmazta a Góbé nevű vitorlázó repülőgépén. Egy tipikus acélszerkezetű repülőgép részleteit figyelhetők meg az alábbi képsorozaton., valamint hajlított lemez profilok és a szegecselt rácselemek. C 47 törzs héjszerkezetén.)



14. ábra A nagy Ju-52 szerkezete¹⁶



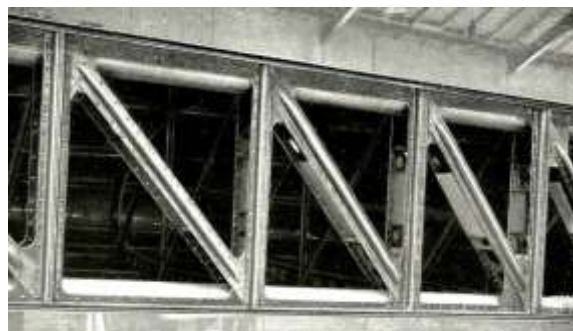
15. ábra korai héjszerkezetű repülőgéptörzs¹⁷

Duraluminium szerkezetek a 20-as években:

Duraluminium lemezekből hajlítással és élhajlítással merevített elemekből, szegecseléssel is alakítható ki teherviselő szerkezet (16. és 17. ábra).



16. ábra Szárnyközép a 20-as évekből¹⁸



17. ábra Főtartó részletek a 20-as évekből¹⁹

(Ez a hivatkozás is egy alumínium törzsre vezet.)

A geodetikus rendszer

¹⁶ Dr.Ing. W. von Langsdorf: Jahrbuch 1929/30. Bechhold Verlag Frankfurt 1929

¹⁷ Otto Mairer Verlag: Sportfliegen. Ravensburg 1935

¹⁸ Dr.Ing. W. von Langsdorf: Jahrbuch 1929/30. Bechhold Verlag Frankfurt 1929

¹⁹ Dr.Ing. W. von Langsdorf: Jahrbuch 1929/30. Bechhold Verlag Frankfurt 1929

A Vickers repülőgépgyár által gyártott Wellington bombázó repülőgépnél egyedi, ún. geodetikus²⁰ elrendezést alkalmaztak mind a törzs, mind a hordfelületek esetében (18. ábra).



18. ábra A Wellington törzse²¹

A Wellington törzsét egymást metsző diagonális rudakkal, ún. geodetikus rácsszerkezettel merevítette a Vickers cég. A diagonálisan futó I szelvényű duralumínium tartókra merőlegesen csatlakoznak az ugyanilyen szelvényű összekötő elemek egy-egy övhevederrel átkötve. Az előre gyártott mezőket összeszereléskor acél csövekhez csatlakoztatják. A teherviselő rácstra hosszmerítőköt csavarozták, erre pedig vászon borítás került. A héjszerkezetű törzseknél helyenként bordákkal merevítették a borítást.

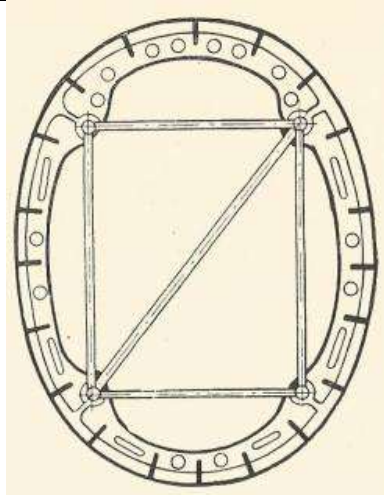
(A beágyazott képen a lövések okozta sérülés nyomán jól látható a törzsvég rácsszerkezete és a leszakadó vászon is. Ezen kívül egy roncsban is megfigyelhető a sárkányszerkezet, illetve videó mutatja be a szerelést, melyben a repülőgép vezérsíkjainak és a szárnytőnek a szerkezete is látható. További képeken a törzs belülről, és annak szerelése. látható. A szárnyak, hordfelületek alakját egyértelműen az aerodinamika követelmények határozza meg. A háromnézeti rajzokon is látszik, hogy a szárnyfelület is geodetikus szerkezete, melyet a Vickers cég Wellingtonjánál a szárny és a vezérsíkok, illetve szárny és törzs csatlakozásánál, is következetesen alkalmazott. Szimulációval áttekinthető a Wellington szerkezete is.)

További képadalékok a fémépítésű repülőgépekhez

Több korai fémépítésű repülőgép törzs kívánt szilárdságát, törzskereteit erősítő négyzet keresztmetszetű rácsrudakkal valamint a borítására rögzített hosszmerítőkkel biztosították (19. ábra).

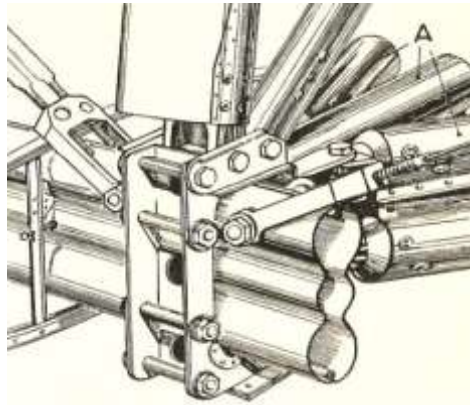
²⁰ "Mi is ez a geodetikus csoda?" (idézet a Mester Kiadó "A világ repülőgépei" c. képes krónika gyűjteményéből, a 10. csoport 47. kártyájáról.) A geodetikus vonal a legrövidebb egyenes két olyan pont között, amely egy ívelt felületen helyezkedik el, végig azon halad. A Földön például Budapest és New York között, ha a felszínen haladunk, pontosan abba az irányba, ilyen geodetikus vonalat járunk be. Barnes Wallis a Wellington főkonstruktor a léghajótervezésből vette át a rendszert. Az R 100-as léghajó tervezésében vett részt. Előző ötlet egy geodetikus szerkezetű hajó volt 1794-ből. Wallis első ilyen repülőgépe a Vickers Wellesley volt. A gép vázrajza és részlete. A harmadik geodetikus vázzal épített repülőgép-család a Warwick nevet kapta. A gép képe, törzsrészlet, szárnyrészlet.

²¹ <http://cdn-www.airliners.net/aviation-photos/photos/3/0/7/0500703.jpg>



19. ábra Alakadó keretek²²

A hajlított duraluminium lemezekből készített szerkezeti elemeket bonyolult kapcsolatokkal alakították ki. Egy vadász-repülőgép főtartó rögzítését mutatja a 20. ábra.



20. ábra csomópont²³

Egy korabeli repülőgéptörzs fém teherviselő rendszerének kialakítása látható a 21. ábrán.



21. ábra Heinkel He 70 törzsrészlete²⁴

²² Gerhard Otto: Rumpf. Volckmann Kiadó Berlin 1938.

²³ Gerhard Otto: Rumpf. Volckmann Kiadó Berlin 1938.

²⁴ Gerhard Otto: Rumpf. Volckmann Kiadó Berlin 1938.

A REPÜLŐGÉPGYÁRTÁSBAN ALKALMAZOTT KOMPOZIT ANYAGOK ÁTTEKINTÉSE

Bevezetés

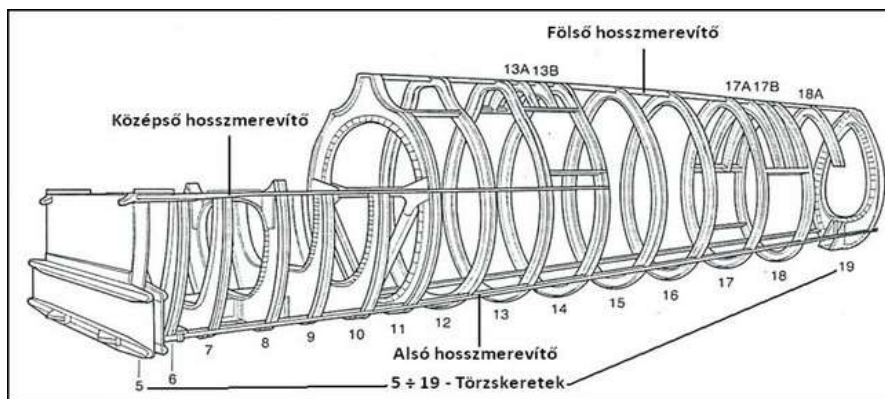
Kompozit anyag fogalmi meghatározása

Kompozit anyagokon általában legalább kétféle-, makroszkópiusan és funkcionálisan is elkülöníthető anyag (összetevő), társítását értjük, egy adott szerkezeti egységen belül. Ez a kétféle összetevő funkció szerint az erősítőanyag, vagy vázanyag (reinforcement) és a beágyazó anyag (mátrix). A kompozit anyagokat a különböző fizikai (mechanikai) jellemzőkkel bíró anyagok előnyös tulajdonságainak kombinálása, jobb kihasználhatósága miatt hozták létre.

Megjegyzés: a kompozit- és a szendvicsszerkezetek fogalma különböző! Az előbbiek anyagkombinációt, míg az utóbbiak szerkezeti kialakítást jelölnek. Ennek megfelelően, a szendvicsszerkezet nem alapvetően kompozit anyagú és a kompozit-szerkezet nem feltétlenül szendvicsszerkezet is egyben!

A kompozit anyagok történelmi áttekintése

A természetben is előfordulnak „kompozit anyagok”, melyek közül legismertebbek: a fa, a bőr, a bambusznád és a csont. A klasszikus értelemben vett, ember alkotta kompozit anyagokat már a történelem előtti időkben is használták őseink, melyek közül legismertebbek a vályogtégla és a „vert-fal”, amelyeknél a gyenge mechanikai szilárdságú agyagot a hozzákevert növényi eredetű rostok (például: szalma) illetve fűzfavessző-fonadék használatával sikerült teherbíróbbá tenni. Ugyanezen elvek alapján született meg évezredekkel később a ma is használatos vasbeton. Ezen anyagok voltak az előfutárai a mai értelemben vett kompozit anyagoknak. Az első ilyen (még napjainkban is használt) „modern” kompozit anyag a fenol-formaldehid gyantával kombinált erősítőszövet, a „TEXTILBAKELIT” melynek beágyazó anyaga a „BAKELITE” (fenol-formaldehid gyanta) igen rideg, törékeny és gyenge mechanikai tulajdonságú műanyagnak bizonyult, ezért természetes textilszövettel megerősítve tették alkalmassá a széleskörű ipari felhasználásra.



²⁵ http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/34_Lukacs_Laszlo-Szalay_Andras_Zador_Istvan.pdf



23. ábra Repülőgéptörzs építése²⁷

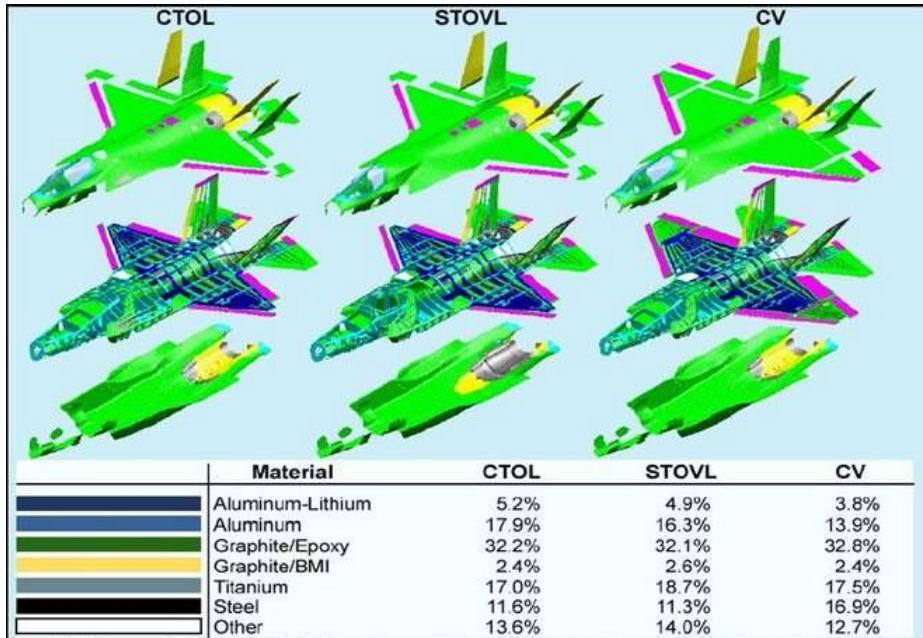
A repülőgép-építésben jelentős mennyiségben először alkalmazott kompozit anyag az 1930-as évek végén az Aero Reserach Ltd. által kifejlesztett GORDON AEROLITE fantázianevű egyirányú szalag volt, amelyet fenol-gyantával átítatott fonatlan (sodrás nélküli) len-szálakból készítettek. Ebből az anyagból gyártottak kísérletképpen (1940-ben) a II. világháború egyik leg-híresebb vadászrepülőgépe: a „SUPERMARINE SPITFIRE” törzse hátsó részét a (törzskereteit hosszmerítőit és törzsborítását), melyeket hagyományos szegecseléssel erősítettek össze. (22. és 23. ábra)

A következő lépcsőfokot a nagyszilárdságú üvegszál és poliésztergyanta „összeházasításával” előállított kompozitok fémjelzik, melyeket először egy 1943-ban az USA-ban készült oktató-kiképző repülőgép (Vultee XBT-16) törzs-hátsórészének készítésénél alkalmaztak, az ugyan-csak újdonságnak számító méhsejt felhasználásával alkotott „szendvicsszerkezetű konstrukció” megalkotásához. A fejlődés tovább folytatódott, a repülőgép építésben megjelentek az epoxigyanta mátrixanyagok, melyeket először üvegszálból, majd szén-, illetve grafit-szálakból, aramid-szálakból, bórszálakból, kerámiaszálakból, stb, vagy ezek kombinációjából készült „vázanyagokkal” erősítettek meg. Jelenleg már jelentős mennyiségben használnak magasabb üzemi hőmérsékletet elviselő „Poliimid- (polyimide) és Bismaleinimid (bismaleimide) hőre keményedő mátrixgyantákat (Thermosetting resins), valamint hőre lágyuló polimereket (themoplastics) az erősítőanyagok beágyazására. Napjainkban szinte bármely rendeltetésű merev és forgószárnyas polgári, valamint katonai repülőgép sárkányszerkezetében széleskörűen

²⁶ Donald H. Middleton: Composite materials in aircraft structures (book) Issue date: 1990. Volume: 394 pages

²⁷ AIRBUS: All Aircrafts Composite Engineering (Training Course:XSC3 CD) Ref. No: X4T07202. Issue date: March 27, 2008.

alkalmazzák a korszerű kompozit anyagokat (pl. 24. sz. ábra). A sportrepülésben és a hadiiparban összegyűlt tapasztalatok alapján már a közforgalmú repülésben is egyre elterjedtebben használnak kompozit-anyagokat az elsődleges teherviselő szerkezetek készítésére is. Erre jó példa a 25. sz. ábrán látható AIRBUS A380-as „óriásgép” melynél a sárkányszerkezetben 26% a kompozit-anyagok súlyaránya, amely volumenében (térfogatszázalékában) még kedvezőbb, mert a polimer-kompozitok sűrűsége átlagosan 2 kg/dm³ körüli.



24. ábra Lockheed-Martin F-35 Joint Strike Fighter különböző változataiban sárkányszerkezetében felhasznált anyagok²⁸



²⁸ BOEING: Advanced Composite Repair for Engineers (Training manual) Publication No: 7X7. Issue date: May 30, 1997. Volume: 280 pages.

A hangsebesség alatti tartományban repülő közforgalmi légitársaságok esetében felhasznált kompozitanyagok aránya már meghaladja az 50 tömegszázalékot is. Erre a legjobb példa az első kompozit szerkezetű túlnyomásos törzzsel, szárnyakkal és vezérsíkkal készült légitársaság a BOEING B787 „Dreamliner”, melynek az építéséhez felhasznált „anyagféléseket” a 26. ábra mutatja be.



26. ábra BOEING B787 „Dreamliner” építéséhez alkalmazott szerkezeti anyagok³⁰

A kompozit anyagok jellemzői, kompozit-szerkezetek csoportosítása

Kompozitok előnyei:

- jelentős súlymegtakarítás;
- anizotrópia (ortotrópia);
- korrózió- és időjárás-állóság;
- hosszú élettartam, kifáradással szembeni ellenállóság;
- rezgéscsillapítás;
- szerkezeti egyszerűség;
- formai szabadság, esztétikus kivitel;
- alaktartás és mérsékelt hőtágulás;
- alacsony „felszerszámozási” költségek;
- csökkent radarhullám visszaverő képesség, alacsony észlelhetőség;
- alacsony üzemeltetési- és karbantartási költsége.

Kompozitok hátrányai:

- magas előállítási költségek;
- alacsony ütésállóság és sérülésállóság (szén-, grafit-, bórszál);
- statikus feltöltődésre való hajlam és alacsony villámcsapástűrő tulajdonságok;

²⁹ ASM International: Composites (Engineered Materials Handbook) Issue date: 1987. Volume: 983 pages. GURIT Co: Guide to Composites 2008. (Brochure)

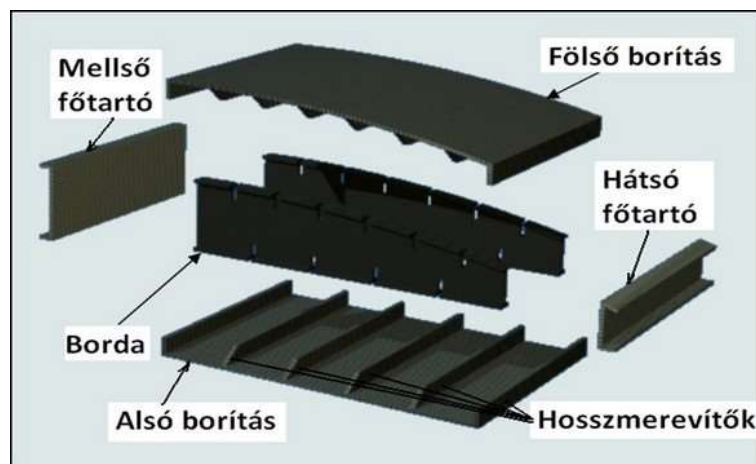
³⁰ Doc. No: GTC-2-0708. Issue date: 2008. Volume: 72 pages

- alacsonyabb rétegek közti szilárdság, gyenge palástnyomás állóság;
- bonyolultabb, körülményesebb, drágább és precízebb javíthatóság;
- nedvességfelvétel;
- túlmelegedés okozta torzulás, deformáció.

Kompozit-szerkezetek csoportosítása

Tömör, monolitikus kompozit-szerkezetek

A tömör, monolitikus kompozit-szerkezetek tipikus félhéjszerkezetek, melyeknél a szerkezeti merevséget a többrétegű borítás, a hosszirányú merevítő elemek (főtartók, hosszmerítők) és a keresztirányú merevítők (törzskeretek, bordák) együttesen biztosítják. A monolitikus szerkezet felépítését a 27. ábra szemlélteti.



27. ábra Kompozit építésű szárny szerkezeti elemei³¹

A monolitikus kompozit-szerkezetek előnyei:

- csökkentett karbantartási igény;
- alacsonyabb gyártási költségek szendvicsszerkezethez képest;
- jobb sérülésállóság, ütésállóság;
- nincs nedvességfelvételtől fakadó rongálódás.

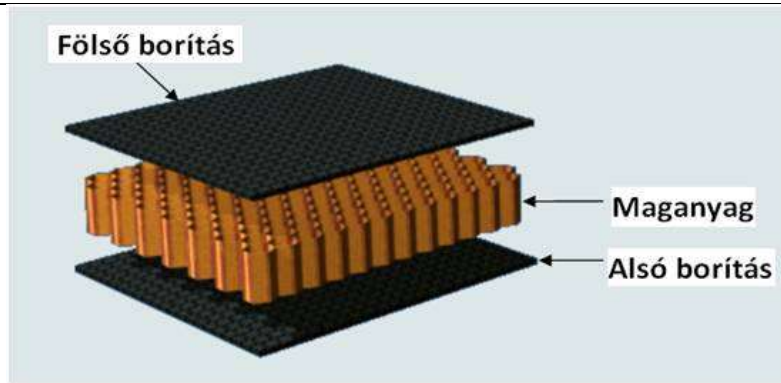
A monolitikus kompozit-szerkezetek hátrányai:

- nehezebb, mint az azonos szilárdságú szendvicsszerkezet;
- kiegészítő elemek szükségesek a hajlító-, és csavaró-merevség biztosításához;
- rosszabb a merevséghez viszonyított súlyaránya a szendvicsszerkezethez képest.

Szendvicsszerkezetek

A szendvicsszerkezetek esetében a szerkezet merevségét a viszonylag vékony külső- és belső borítások és a köztük lévő, hozzájuk erősített (ragasztott), leggyakrabban méhsejt vagy zártcellás hab maganyag biztosítják kiegészítő merevítő elemek nélkül, ezért ezek a szerkezetek héjszerkezetnek tekintendők (28. ábra).

³¹ Gáti Balázs –Koncz Imre: Repülőgépek Szerkezete (Egyetemi tananyag elektronikus formában) Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében. Issue date: 2012. Volume: 174 pages.



28. ábra Szendvicsszerkezet elvi felépítése³²

A szendvicsszerkezetek előnyei:

- legnagyobb merevség a legkisebb szerkezeti tömeg mellett;
- magas csavaró-merevség;
- kiváló hőszigetelő képesség;
- kiváló zajcsillapítási tulajdonságok.

A szendvicsszerkezetek hátrányai:

- nedvességfelvételre hajlamos, és érzékeny az ebből fakadó roncsolódásra;
- alacsonyabb ütésállóság, mint a tömör szerkezeteknél;
- magasabb gyártási költségek.

Korszerű repülőgépipari kompozit anyagok

Anyagok csoportosítása:

- erősítőanyagok (vázanyagok, erősítőszálak)
- mátrixanyagok (beágyazó-anyagok)
- maganyagok
- ragasztók
- töltőanyagok (adalékanyagok)
- segédanyagok

A repülőgépgyártás és javítás során alkalmazott kompozit gyártási eljárások

Kézi laminálás nedves impregnálással (Wet-layup):

Az egyik legrégebben alkalmazott eljárás, melyet napjainkban már csak a kisgépek gyártásához illetve különféle kisebb javításokhoz használnak. Az eljárás lényege, hogy megfelelő méretre vágott vázanyagokat (szöveteket) a megfelelően előkészített, formaleválasztóval kezelt sablonban, vagy a sérült munkadarabon kézzel impregnálják (itatják át) a kettő-, vagy több komponensből (bázisgyanta, térhálósító, iniciátor, stb.) összekevert folyékony lamináló-gyantával a

³² Gáti Balázs –Koncz Imre: Repülőgépek Szerkezete (Egyetemi tananyag elektronikus formában) Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében.

gyártási-, illetve javítási dokumentációban előírt erősítőanyagok felhasználásával. Ennél megbízhatóbb és szakszerűbb az a módszer, amikor az erősítőszöveteket, szálkötegeket a helyszínen kézi-, vagy gépi impregnálással nedvesítik át, legtöbbször fóliák között, melyeket ezt követően a kívánt méretre és alakra vágnak. Ezután a meghatározott rétegrend szerinti irányokban és rétegszámban helyezik a sablonokba, vagy a javítási területre, mindezt rövid időn belül, mivel a folyékony lamináló-gyantáknak a komponensek összekeverése után viszonylag kicsi a felhasználhatósági idejük („fazékidejük”) a térhálósodás elkezdődéséig. Emiatt ezzel az eljárással nagyméretű részegységek nem készíthetők megbízható minőségben, mert az gyártási folyamatnak (impregnálás, méretre vágás, rétegezés) be kell fejeződnie a lamináló-gyanta engedélyezett fazékidejének lejárta előtt, ellenkező esetben a polimer molekulaszervezete károsodik, és súlyos mértékben gyengülnek a szerkezet mechanikai tulajdonságai, ezért a fazékidő túllépése tilos! Az elkészült laminátum, illetve szendvicspanel fölé vákuumsomagot készítenek és az egész terméket bevákuumozzák, hogy a jó minőség eléréséhez szükséges erősítőanyag/beágyazó-anyag (mátrix) aránya a kívánatos értékhatáron belülre kerüljön. A vákuumos eljárással legyártott kompozit szerkezetek fajlagos mechanikai tulajdonságai jelentősen javulnak. A hőre keményedő polimer-mátrixú kompozit-szerkezetek (thermoset polimer matrix composites) fizikai paramétereinek javítására és hőmérséklet-tűrésének fokozására hőkezelést is szoktak alkalmazni, amire kétféle eljárás használatos:

- **emelt hőmérsékletű térhálósítás** (elevated temperature cure) amely azt jelenti, hogy a mátrixanyag térhálósítása típustól függően epoxigyanták esetében 50 C° és 120 C° közötti hőmérsékleten, rendszerint 0,5–4,0 óra alatt megy végbe. Ezen eljárás a gyártási időt is jelentősen lerövidíti, de a művelet során a magasabb minőség eléréséhez a munkadarabot a sablonban vákuum alatt kell tartani a térhálósodás befejeződéséig.
- **utóhőkezelés** (postcure) amelyet a mátrixgyanta kikeményedése, megszilárdulása után végeznek el szabályozható hőmérsékletű hőkamrában, kemencében. Ekkor a munkadarab „bevákuumozására” már nincs szükség, de a terméket a gyártószablonban kell hőkezelni a magas hőmérséklet okozta deformáció, torzulás elkerülésére.

A 29. ábra egy könnyű sportrepülőgép (Corvus Corone Mk-I.) felső szárnypaneljének gyártásán keresztül szemlélteti a nedves kézi impregnálás gyakorlati megvalósítását.



29. ábra Kompozit repülőgép sárkány építése nedves kézi impregnálással³³

³³ A fotót Almási Balázs az egykori Corvus Aircraft Kft dolgozója készítette és bocsájtotta a rendelkezésre.

Előimpregnált erősítőanyagok használata (Prepreg Method):

A modern közforgalmú és egyéb polgári célú repülőgépek, valamint a katonai repülőgépek csúcsmínőségű szerkezeti elemeinek gyártásához legelterjedtebben alkalmazott eljárás, melyhez előre impregnált erősítőszálakat, szöveteket (UD & fabric prepregs) használnak, melyeket erre szakosodott üzemekben automata gépsorokon készítenek. Az elkészült alapanyagot fagyponthoz (–12 °C és –18 °C közötti hőmérsékleten) kell tartani (és lehetőség szerint szállítani is) a felhasználásig. A „prepregekhez” használatos mátrixanyagok igen hosszú felhasználhatósági idővel rendelkeznek (általában 1–5 hét), így igen nagyméretű munkadarabok is nagy biztonsággal és megbízható minőségben készíthetők ezzel a módszerrel. Az eljárás sokkal tisztább és megbízhatóbb, mint a nedves impregnálás, emellett jóval kisebb élőmunka ráfordítással jár, ami részben, vagy teljes egészében ellensúlyozza az alapanyag magasabb árát. A jelenleg alkalmazott „prepreg gyanták” környezeti hőmérsékleten nem térhálósíthatóak, ezért minden esetben erre a kúrára magas hőmérsékletet kell biztosítani. A legelterjedtebbek az epoxi mátrixgyanták, a térhálósítás hőmérséklete alapján két csoportra oszthatók:

- alacsony kúrahőmérsékletű prepregek +65 °C–(+130 °C);
- magas kúrahőmérsékletű prepregek +130 °C–(+220 °C).

Az epoxigyantákon kívül használnak még cianát észter-gyantákat, fenol-formaldehid gyantákat, melyek általában +110 °C továbbá poliimid- (PI) és biszmaleinimid (BMI) mátrixgyantákat is, ezek térhálósodása általában +200 °C és +350 °C közötti hőmérsékleten megy végbe. Ezen az eljárással készült termékeket minden esetben vákuum, illetve magasabb nyomás alatt kell térhálósítani. A mátrixgyantával előimpregnált erősítőanyagok (prepreg materials) kézzel történő alkalmazására mutat szemléltető példákat a 30. ábra.



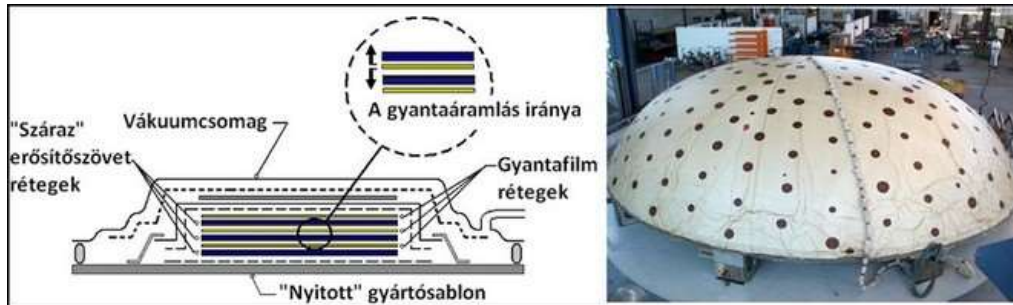
30. ábra Mátrixgyantával előimpregnált erősítőanyagok (prepreg materials) kézzel történő alkalmazása³⁴

RFI – Gyantafilm Infúziós impregnálás:

Ez a gyártási módszer, amelyet RFI-nek (Resin Film Infusion) ismer az angol nyelvű szakirodalom, nagyméretű alkatrészek gazdaságos gyártását teszi lehetővé. Az eljárás lényege, hogy a száraz erősítőanyagot és a szilárd egykomponensű gyantát (gyantafilm) egymásra rétegezik (előformázva a sablon felületén), majd bevákuumozzák. Ezt követően autoklávba vagy esetleg

³⁴ A képen Koncz Imre (szerző) lánya az ACE Aeroplex of Central Europe kft kompozit-műhelyében, 2009. júniusában üzemi gyakorlaton, a BMGE Gépészmérnöki Karának MSc hallgatójaként.

hőkamrába helyezik, ahol a vákuum hatására a magas hőmérsékleten folyékonyvá váló gyantafilmet magába szívja az erősítőanyag, így együtt térhálósodva képeznek kompozit-szerkezetet. Az eljárás lényegét, valamint az A380-as repülőgép hátsó nyomástartó falának gyártását a 31. ábra szemlélteti.



31. ábra az A380-as repülőgép hátsó nyomástartó falának gyártása RFI módszerrel³⁵

ATL - Automatizált prepreg szalagterítés (Automated Tape Laying):

A számítógép vezérelt szalagfektető berendezés UD prepreg szalagot terít a pozitív szerszámra a kívánt vastagságban és irányokban sokkal gyorsabban és pontosabban, mint a kézzel végzett prepreg laminálás, ezáltal jelentős átfutási idő rövidülést és költségcsökkenést eredményez. Az így összeállított elemek, részegységek mátrixanyagának térhálósítása vákuumcsomagban, magas hőmérsékleten, túlnyomásos autoklávban zajlik. Olyan nagyméretű munkadarabok készülnek ilyen eljárással, melyek sík-, vagy enyhén domború felületűek (32. ábra).



32. ábra Az ATL számítógép vezérelt szalagfektető berendezés „3D-s terítőfej” és munkaasztala³⁶

AFP - Automatizált szálfektető eljárás (Automated Fiber Placement):

Számítógép vezérlésű, hőre lágyuló-, vagy hőre keményedő mátrixanyaggal impregnált szálakkal dolgozó ipari robot által végzett gyártási mód. A robotkarral mozgatott terítőfej több csévestről göngyöli le a prepreg szálkötegeket, melyeket egyenletesen szétterítve a pozitív szerszám felületére fektet a betáplált program szerinti rétegszámban és irányokban. A hőre kemé-

³⁵ Gáti Balázs –Koncz Imre: Repülőgépek Szerkezete (Egyetemi tananyag elektronikus formában) Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében.

³⁶ Gáti Balázs –Koncz Imre: Repülőgépek Szerkezete (Egyetemi tananyag elektronikus formában) Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében.

nyedő mátrixgyantával impregnált erősítőszálakból készített munkadarabok térhálósítása rendszerint vákuumsomagban, autoklávban történik. A hőre lágyuló mátrixokat a terítőfejre szerelt helyi hőforrással (rendszerint lézerrel) olvasztja meg a berendezés, amely azonnal megszilárdul, amint a présgörgő a szerszám felületére simítja. Az eljárás elvét és gyakorlati megvalósítását a 33. ábra mutatja be.



33. ábra AFP – Automatizált szálfejtető eljárás³⁷

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WAGENFÜHR: Holzatlas. Veb. Fahrbuchverlag Leipzig.1985.
- [2] BERGET ALFONZ: Léghajózás és repülés. M. K. Természettudományi Társulat. Budapest, 1911.
- [3] KENNETH MUNSON: Kampflugzeuge. Orel Füssli Verlag Zürich 1968.
- [4] JOHN BATCHELOR: A Repülés enciklopédiája. GABO 2004
- [5] GÜNTER SCHMITT: Junkers Bildatlas Motorbuch V. Stuttgart 1990.
- [6] FORTSCHRITTE DER LUFTWART: Bechhold V. Frankfurt 1929.
- [7] LANGSDORF: Sportfliegen Otto Maier V. Ravensburg 1935.
- [8] NAGYVÁRADI SÁNDOR-M. SZABÓ MIKLÓS-WINKLER LÁSZLÓ: Fejezetek a magyar katonai repülés történetéből. Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1986.
- [9] DONALD H. MIDDLETON: Composite materials in aircraft structures (book) Issue date: 1990. Volume: 394 pages. (Az 1. és 2. ábrák forrása is)
- [10] AIRBUS: All Aircrafts Composite Engineering (Training Course:XSC3 CD) Ref. No: X4T07202. Issue date: March 27, 2008. Size: 601 MB. (A 4., 6., 7., 9.a., 10., 11. és 12. ábrák forrása is)
- [11] BOEING: Advanced Composite Repair for Engineers (Training manual) Publication No: 7X7. Issue date: May 30, 1997. Volume: 280 pages.
- [12] ASM International: Composites (Engineered Materials Handbook) Issue date: 1987. Volume: 983 pages.
- [13] GURIT Co: Guide to Composites 2008. (Brochure) Doc. No: GTC-2-0708. Issue date: 2008. Volume: p.72
- [14] GÁTI Balázs –KONCZ Imre: Repülőgépek Szerkezete (Egyetemi tananyag elektronikus formában) Készült a TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 számú, „Egységesített Jármű- és mobilgépek képzés- és tananyagfejlesztés” című projekt keretében. Issue date: 2012. Volume: 174 pages. (A képek nagyobb részének másodlagos forrása is egyben.)

³⁷ AIRBUS: All Aircrafts Composite Engineering (Training Course:XSC3 CD) Ref. No: X4T07202. Issue date: March 27, 2008. Size: 601 MB.

Veres Péter¹ – Bányai Tamás² – Illés Béla³

HÁLÓZATSZERŰ SZOLGÁLTATÓ RENDSZER TERVEZÉSE⁴

A globalizáció hatásai nem csupán a termelés, hanem a szolgáltatások területén olyan változásokat idéztek elő, melyek szükségessé tették a szolgáltatási tevékenységek hálózatosodását. Ez ahhoz vezetett, hogy napjaink szolgáltatási rendszereiben egyre összetettebb folyamatok jelennek meg és az ezeket kiszolgáló, támogató logisztikai tevékenységek is egyre komplexebbekké válnak. Ezen komplex logisztikai folyamatok tervezése olyan újszerű, bonyolult és gyakran NP-hard⁵ problémák megoldását támogató modellek, módszerek és algoritmusok alkalmazását követeli meg, melyek nagyméretű állapotterekben is képesek elfogadható megoldást előállítani a felvetődő tervezési feladatok megoldásához. Jelen cikkben a szerzők egy olyan firefly algoritmuson⁶ alapuló heurisztikus optimálási módszert mutatnak be, mely alkalmas a hálózatszerűen működő logisztikai folyamatok optimális kialakításának támogatására. Bemutatásra kerül egy általános modell, illetve az annak megoldására szolgáló algoritmus, melyben a szerzők olyan új metrikát vezetnek be a permutációk közötti távolságok mérésére.

DESIGN OF NETWORKED SERVICES

The globalisation of economy and market led to increased networking in the field of manufacturing and services. The processes of these manufacturing and services including logistics became more and more complex. The design and operation of these complex processes can be described as NP-hard optimisation problems. These problems can be solved using sophisticated modelling, methods metaheuristics based algorithms. Much of the research in this area is focusing on manufacturing. This paper aims to report a firefly metaheuristics based optimisation method, by the aid of which it is possible to support the solution of design and control problems of networked service processes. The authors describe a general model and present a new metrics to measure permutation distances used in the algorithm.

BEVEZETÉS

A logisztika a termelési folyamatok mellett egyre nagyobb szerepet tölt be a szolgáltatási tevékenységek területén is. A termelési folyamatok tervezésére rengetek szakirodalom áll rendelkezésre, azonban a szolgáltatási tevékenység kapcsán még jelentős területek vannak, melyek esetében az optimális kialakítás és működtetés támogatására nem állnak rendelkezésre megfelelő modellek, módszerek és algoritmusok [4]. Ezen területen jelentős eredményeket felmutató kutatói team a Lost in Services kutatói team, mely műszaki és matematikai modelleket dolgozott ki szolgáltatási folyamatok tervezésére és működtetésére [5]. Ebben a kutatási irányban olyan perspektívák mutatkoznak, melyek komoly haszonnal kecsegtetnek a szolgáltatási folyamatok kialakítása és működtetése során történő alkalmazás esetében.

¹ doktorandusz, Miskolci Egyetem, altveres@uni-miskolc.hu

² egyetemi docens, Miskolci Egyetem, alttamas@uni-miskolc.hu

³ intézetigazgató egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, altilles@uni-miskolc.hu

⁴ Lektorálta: Prof. Dr. Mang Béla, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, bela.mang@uni-miskolc.hu

⁵ Nem polinomiális nehéz.

⁶ A szentjánosbogarak szociális viselkedésén alapuló heurisztikus optimálási módszer.

Jelen munka célja egy olyan általános, metaheurisztikán alapuló tervezési módszer bemutatása, mely alkalmas a termelési folyamatokban szerzett tapasztalatok hasznosítása révén a szolgáltatási rendszerek logisztikai folyamatainak optimális kialakítását támogatni.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalomban számos olyan kutatási munka található, mely a szolgáltatási tevékenységekhez kapcsolódó logisztikai folyamatok tervezésének és irányításának kérdéseit tárgyalja. Ezen irodalmak egy része csupán koncepció szinten vizsgálja a hálózatszerűen működő logisztikai folyamatok optimális kialakítását [12], míg másik részük konkrét modellekkel és algoritmusokkal szolgál a tervezési feladatok megoldásához [11][13][14].

A szolgáltatási területek egyik logisztikai tevékenységekben leggazdagabb területe a city logisztika, mely az áruelosztás problémakörében szociális, kulturális és gazdasági hatásokkal bírhat, így tervezése különösen nagy jelentőséggel bír [8][9].

A logisztikai szolgáltatások optimális kialakítása nem csupán a hagyományos logisztikai funkcionális területeket érinti (beszerzés, termelés, elosztás, újrahasznosítás). Jelentős kutatások folynak azzal a céllal, hogy olyan módszereket és algoritmusokat dolgozzanak ki, melyekkel a logisztikai szolgáltatások kialakítását úgy lehet támogatni, hogy a teljes logisztikai szolgáltató lánc környezetterhelése jelentős mértékben csökkenthető [7].

A hálózatszerűen működő szolgáltatási tevékenység vizsgálatának egy érdekes aspektusa a minőségbiztosítás és a kockázatelemzés kérdése, ugyanis a legtöbb szakirodalmi forrás a hálózatszerűen működő rendszerek esetében is csak az egyes résztvevők kockázatát vizsgálja, kevés olyan kutatási munka található, mely egy logisztikai szolgáltató hálózat kockázatát rendszer szinten kezeli [6]. A logisztikai tevékenységek szervezésekor a környezetvédelmi hatások figyelembe vétele elkerülhetetlen, s ez különösen igaz az olyan szolgáltatási tevékenységeket támogató logisztikai folyamatok esetében, ahol nagy fajlagos szállítási költségek és teljesítmények adódnak a folyamatok jellegéből adódóan [10].

TÁVOLSÁGMÉRÉS KERESÉSI TÉRBEN

A heurisztikus és metaheurisztikus optimumkereső algoritmusok esetében különböző állapotterekben kell a lehetséges megoldásváltozatok közül a legjobbat megkeresni. A raj intelligencia típusú algoritmusok esetében (hangya kolónia algoritmus, méh kolónia algoritmus, szentjános bogár algoritmus) az állapotter függvényében különböző módszerek használhatóak az egyes megoldások közötti távolságok mérésére [3]. Amennyiben a keresési térben az egyes megoldási változatok bináris kódoltak, akkor a Hamming távolság egy alkalmas metrika. Valós vektorokkal leírt megoldási változatok esetében Euklidészi vagy Chebisev távolság használható távolságmérésre. Jelen kutatási munkában diszkrét számokat tartalmazó vektorok írják le az egyes megoldási változatokat, így a továbbiakban áttekintjük az ismert metrikákat, majd javaslatot teszünk két új metrika alkalmazására.

Permutációk távolságának mérése

Különböző módszereket tárgyal a szakirodalom a permutációk közötti távolságok mérésére. Az egyik legegyszerűbb módszer a Hamming távolság [1], mely a nem azonos elemeket tartalmazó pozíciók száma két permutációban:

$$d_{Ham}(s_1, s_2) = \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{ahol } x_i = \begin{cases} 0 & \text{ha } s_1(i) = s_2(i) \\ 1 & \text{más esetekben} \end{cases} \quad (1)$$

A Hamming távolság normalizálható, ebben az esetben a két permutáció valós Hamming távolságát osztani kell a maximális távolsággal:

$$d_{Ham}^*(s_1, s_2) = \frac{d_{Ham}(s_1, s_2)}{n} \quad (2)$$

A különbség távolság a két permutáció egyes elempárjai közötti távolságok különbségeinek összege [2]:

$$d_{különbség}(s_1, s_2) = \sum_{z=1}^n |s_1(z) - s_2(z)| \quad (3)$$

A különbség távolság normalizált értéke az egyes permutáció vektorok elemszámának függvényében az

$$d_{különbség}^*(s_1, s_2) = \frac{2 \cdot d_{különbség}(s_1, s_2)}{n^2} \quad \text{és} \quad d_{különbség}^*(s_1, s_2) = \frac{2 \cdot d_{különbség}(s_1, s_2)}{n^2 - 1} \quad (4)$$

összefüggésekkel számítható.

Amennyiben az egyes permutációk közötti távolságokat nagy távolságok esetében fokozottan kell figyelembe venni, akkor a négyzetes távolságok alkalmazása lehet célszerű:

$$d_{négyzeteskülönbség}(s_1, s_2) = \sum_{z=1}^n (s_1(z) - s_2(z))^2 \quad (5)$$

melynek normalizált értéke a

$$d_{négyzeteskülönbség}^*(s_1, s_2) = \frac{3 \cdot d_{különbség}(s_1, s_2)}{n^3 - n} \quad (6)$$

összefüggéssel számítható.

TSP⁷ esetében a leghosszabb közös string, mint távolság igen jól használható, hiszen segítségével azt mérhetem, hogy milyen hosszú azon rész körútnak a hossza, mely megegyezik a két permutáció esetében. Mivel jelen tudományos munkába TSP megoldása a cél, ezért kidolgozásra került két olyan új metrika, mely kifejezetten a TSP típusú feladatok esetében alkalmas a permutációk közötti távolságok leírására.

Új módszerek permutációk távolságának mérése

Az utazó ügynök típusú feladatok esteében igen gyakran jelentkezik igényként az, hogy bizonyos pozíciókat vagy felkeresendő objektumokat prioritással vegyünk figyelembe. Amennyiben a felkeresési sorrendek esetében szükséges prioritásokat alkalmazni, akkor a súlyozott különbség metrika jó alkalmazható:

⁷ Utazó ügynök probléma.

$$1 \quad d_{\text{súlyozott különbség}}(s_1, s_2) = \sum_{z=1}^n |s_1(z) - s_2(z)| \cdot w_z \quad \text{ahol } \sum_{z=1}^n w_z = 1 \quad (7)$$

Ezen módszert lehet négyzetes különbség esetében is alkalmazni:

$$1 \quad d_{\text{súlyozott négyzetes}}(s_1, s_2) = \sum_{z=1}^n (s_1(z) - s_2(z))^2 \cdot w_z \quad \text{ahol } \sum_{z=1}^n w_z = 1 \quad (8)$$

A másik általunk megalkotott metrika esetében definiálni kell egy határeltérést, és ezt követően összegezni kell a határeltérésnél nagyobb eltérések számát:

$$d_{\text{határeltérés}}(s_1, s_2) = \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{ahol } x_i = \begin{cases} 1 & \text{if } |s_1(i) - s_2(i)| > dev_{\text{határ}} \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (9)$$

ÖSSZEFOGLALÁS

A szolgáltatási folyamatok tervezése speciális modelleket és azok megoldására alkalmas módszereket igényel. Jelen kutatómunka keretében a szerzők egy olyan firefly alapú heurisztikus optimalizálási algoritmust dolgoztak ki, melynek segítségével különböző hálózatszerűen működő szolgáltatási tevékenység logisztikai folyamata optimalizálható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Logisztikai, Informatikai, Mechatronikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SHARAD N. KUMBHARANA, GOPAL M. PANDEY: Solving travelling salesman problem using firefly algorithm. International Journal for Research in Science & Advanced Technologies. Issue 2. Volume 2. 2013. pp. 53-57
- [2] M. SEVAUX, K. SÖRENSEN: Permutation distance measures for memetic algorithms with population management. Proceedings of the sixth metaheuristics International Conference, Vienna, Austria. August 22-26, 2005. pp. 1-8
- [3] S. ZHANG, C. K. M. LEE, H. K. CHAN, K. L. CHOY, Z. WU: Swarm intelligence applied in green logistics: A literature review. Engineering Applications of Artificial Intelligence. Volume 37, January 2015, pp. 154–169
- [4] R. KÁSA, Á. GUBÁN: Business Process Amelioration Methods, Techniques and their Service Orientation: A Review of Literature. In: Vastag Gy (ed.) Research in the Decision Sciences for Global Business. Upper Saddle River: Pearson, 2015. pp. 219-238.
- [5] Á. GUBÁN Á. Z. MEZEI, Á. SÁNDOR: Service Processes as Logistic Workflows. In: Branko Katalinic (ed.) DAAAM International Scientific Book 2014. Bécs: DAAAM International. 2014. pp. 485-500.
- [6] W. LIU, Y. WANG: Quality control game model in logistics service supply chain based on different combinations of risk attitude. International Journal of Production Economics, Volume 161. 2015. pp. 181-191.
- [7] Y.H. VENUS LUN, K.-H. LAI, C.W.Y. WONG, T. C .E. CHENG: Greening propensity and performance implications for logistics service providers. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Volume 74. 2015. pp. 50-62.
- [8] A. DE MARCO, A. C. CAGLIANO, G. MANGANO, F. PERFETTI: Factor Influencing Logistics Service Providers Efficiency' in Urban Distribution Systems. Transportation Research Procedia. Volume 3. 2014. pp. 499-507.



-
- [9] A. HOFF, H. ANDERSSON, M. CHRISTIANSEN, G. HASLE, A. LØKKETANGEN: Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers & Operations Research*. Volume 37. 2010. pp. 2041-2061.
- [10] P. EVANGELISTA: Environmental sustainability practices in the transport and logistics service industry: An exploratory case study investigation. *Research in Transportation Business & Management*. Volume 12. 2014. pp. 63-72.
- [11] C.-N. LIAO, H.-P. KAO: An evaluation approach to logistics service using fuzzy theory, quality function development and goal programming. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 68. 2014. pp. 54-64
- [12] R. O. LARGE, N. KRAMER, R. K. HARTMANN: Procurement of logistics services and sustainable development in Europe: Fields of activity and empirical results. *Journal of Purchasing and Supply Management*. Volume 19. Issue 3. 2013. pp. 122-133.
- [13] W. LI, Y. ZHONG, X. WANG, Y. CAO: Resource virtualization and service selection in cloud logistics. *Journal of Network and Computer Applications*. Volume 36. Issue 6. 2013. pp. 1696-1704.
- [14] F. GZARA, E. NEMATOLLAHI, A. DASCI: Linear location-inventory models for service parts logistics network design. *Computers & Industrial Engineering*. Volume 69. 2014. pp. 53-63.